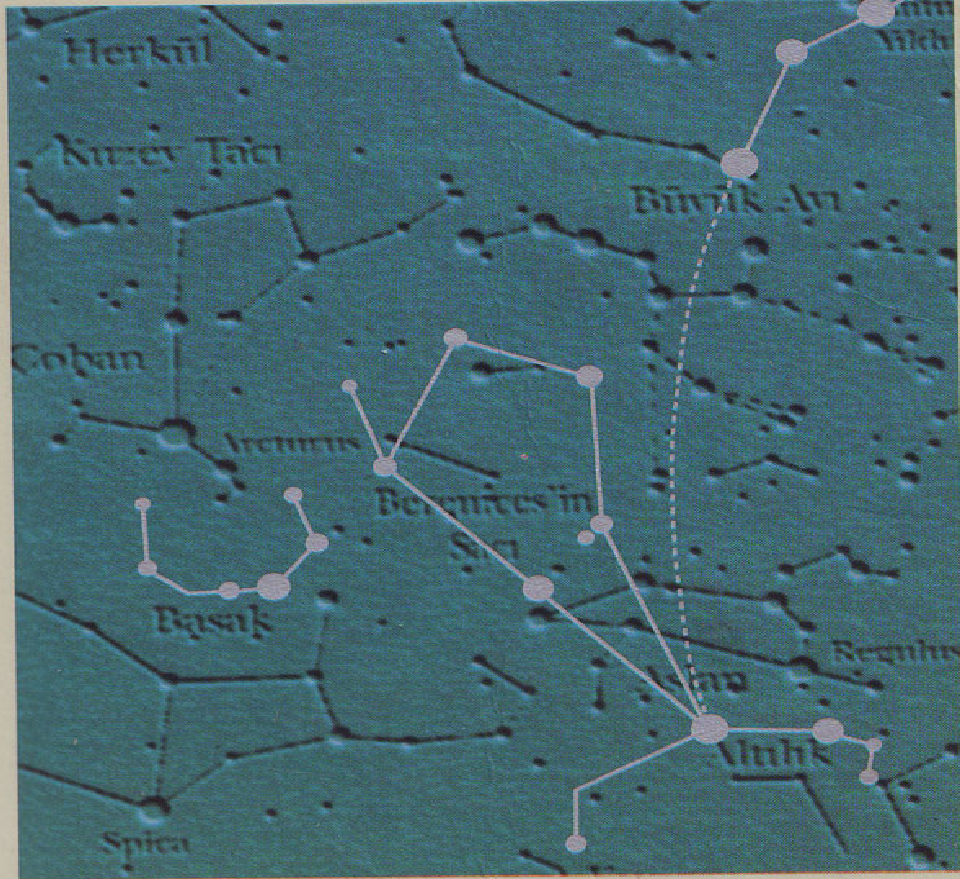
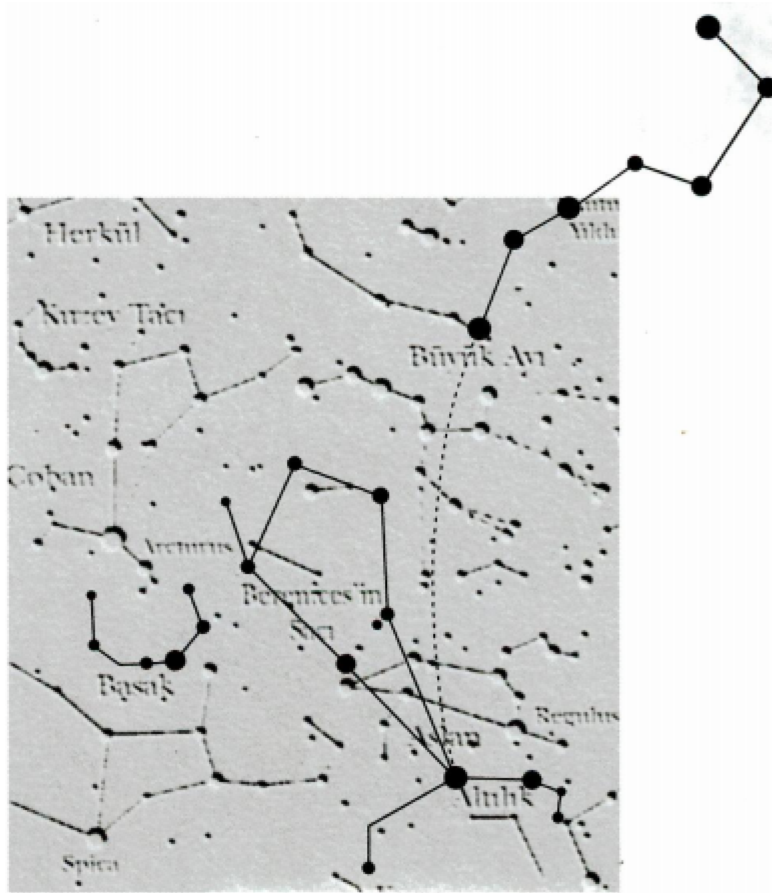
Yıldızların Zamanı

Alan Lightman



TÜBİTAK



Herkül
Kuzey Tacı
Büyük Ayı
Çoban
Arcturus
Berenices'in
Saçı
Başak
Regulus
Spica

YILDIZLARIN ZAMANI

Alan Lightman

Yıldızların Zamanı - Time For The Stars

Alan Lightman

Çeviri: Murat Alev

TÜBİTAK *Popüler Bilim Kitaplarının Seçimi ve Değerlendirilmesi TÜBİTAK Yayın Komisyonu Tarafından Yapılmaktadır.*

ISBN 975 - 403 - 035 - 9

İlk basımı Ocak 1996'da yapılan *Yıldızların Zamanı*
bugüne kadar 17.500 adet basılmıştır.

8. Basım Nisan 1999 (2500 adet)

Yayın Yönetmeni: Zafer Karaca
Yayın Koordinatörü: Sedat Sezgen
Teknik Yönetmen: Duran Akça
Tasarım: Ödül Evren
Uygulama: Yılmaz Özben

TÜBİTAK

Atatürk Bulvarı No: 221 06100 Kavaklıdere/Ankara
Tel: (312) 427 33 21 Faks: (312) 427 13 36
e-posta: bteknik@tubitak.gov.tr
Internet: www.biltek.tubitak.gov.tr

Pro-Mat Basım Yayın A.Ş. - İstanbul

Yıldızların Zamanı

Alan Lightman

ÇEVİRİ
Murat Alev

TÜBİTAK POPÜLER BİLİM KİTAPLARI

İçindekiler

Evrenin Sonu

ŞU ANDA ÇALIŞMAKTA OLAN VE ÖNERİLEN BAZI ASTRONOMİ ARAÇLARI

Önsöz

Ulusal Astronomi ve Astrofizik Araştırmaları Konseyinin 1990'lar için düzenlediği bilim panelinde yöneticilik yapan Alan Lightman, konsey raporunda yer alan bilim içerikli popüler bir bölümün de yazarıdır. Lightman, panel yöneticisi olarak Amerikan astronomi topluluğunun, önümüzdeki on yılın en yaşamsal soruları karşısında nasıl tavır aldığını ve bu sorunların çözülebilmesi için hangi gözlemsel etkinliklere öncelik tanıdığını izleme fırsatı buldu.

Lightman, başka yıldızların çevresinde en iyi gezegen arama yöntemleri ve karanlık maddenin gerçek doğasını keşfetmenin en umut verici yolları konusundaki tartışmaları dikkatle izledi. Gözlemlerin, ne zaman açık bir biçimde galaksilerin oluşumunu ve kuasarların parlamalarını ortaya çıkardığını anladı.

Bu küçük kitapta tüm bunlar ve hatta daha fazlası, dökümanter biçiminde anlatılıyor. *Yıldızların Zamanında* okuyucular, zaman zaman insanlar ve gezegenler, yıldızlar ve galaksiler, yıldız sistemleri, evrenin başlangıçları ve sonları ile ilgili bilmecelerle karşı karşıya geleceklerdir.

Alan Lightman, basit, açık ve canlı bir anlatımla yazan, olağanüstü bir araştırmacı ve bilim adamıdır. Her şeyin ötesinde, iyi bir öykü anlatıyor. Bu kitap, çocuklarımın astronomi ve benim yaptıklarım konusunda bilmelerini istediğim her şeyi kapsıyor.

-John N. Bahcall

Astrofizik Profesörü

İleri Araştırmalar Enstitüsü,

Princeton Astronomi ve Astrofizik

On Yıllık Araştırma Komitesi Yöneticisi

Amerikan Astronomi Derneği Başkanı

Yazarın Önsözü

Bu kitabın (İngilizce orijinalinin) adı, Robert Heinlein'in çok uzun dönemli bilimsel projelere adanmış olan vakfı anlatan bir romanından alınmıştır. Vakıf, beklenen sonuçları en az iki yüzyıl sonra gerçekleşebilecek olan projeleri desteklemekle gurur duymaktadır. Bununla birlikte, vakfın en akıl almaz girişimlerinin hemen kâr etmeye başlaması yöneticileri dehşete düşürmekte ve canlarını sıkmaktadır.

Heinlein'in hayali vakfı gibi Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Bilimler Akademisi de iki yüzyıl kadar uzak değilse bile, geleceğe yönelik planlar yapmaya çalışmaktadır. Önde gelen bilim adamlarının oluşturduğu özel bir örgüt olan Ulusal Bilimler Akademisi, 1863 yılında hükümete bilim ve teknoloji konularında danışmanlık hizmeti vermek üzere kurulmuştur. 1960'tan beri her on yılı başlangıcında, bir grup bilim adamım Astronomi ve Astrofizik Araştırma Komitesi üyeleri olarak atar. Bu komite, Amerikan astronomisinin içinde bulunduğu durumu değerlendirerek gelecek on yıldaki girişim öncelikleri konularında önerilerde bulunur. 1990'ların planlarını yapmak üzere oluşturulan komiteye Princeton'daki ileri Araştırmalar Enstitüsü'nden John Bahcall başkanlık etti. Geçmişte, önerilen projelerin yaklaşık üçte ikisi Amerika Birleşik Devletleri Kongresi tarafından finanse edilerek uygulamaya konmuştur. Büyük projelerde ise bu süreç yirmi yıl gibi uzun bir zaman alabilmektedir.

1990 Astronomi ve Astrofizik Araştırma Komitesi ve onun hazırlayacağı rapor için temel bilimsel konuları ve önerileri kapsayan geniş bir özet hazırlamam istendi. Bu kitap, sözü edilen özeti temel almaktadır. Astronomi tarih boyunca dünyaya bakışımızı biçimlendirdiğinden, astronomiyi insan açısından doğru bir perspektife yerleştirmek amacıyla tarihsel ve kültürel bir altyapı ekledim. Aynı zamanda bazı çağdaş bilim adamları ile ilgili biyografik bilgilerle birlikte bilim adamlarının kendi sözlerine de yer verdim.

Yıldızların Zamanı, kendisini bilimle sınırlamıştır. Önerilen programların uygulamaya konabilmesi için, fiyat etiketleri, bütçeler, zaman çizelgeleri, ulusal öncelikler ve kurumsal kontrol gibi bazı ek etkilerin de göz önüne alınması gerektiği açıktır. Bu konuların bazılarından burada söz etmek istiyorum. Astronomi ile ilgili bilimsel projeler kabaca üç kategoriye ayrılabilir: Klasik optik teleskoplar gibi 100 milyon dolardan daha ucuza mal olan 'küçük' projeler, 100-250 milyon dolar arasında bir fiyata mal olan 'orta boy' projeler ve 250 milyon dolardan daha pahalıya mal olan 'büyük' projeler. İlk ikisi Hubble Uzay Teleskobu ve Gamma Işın Uydusu (GRO) olan ve Dünya çevresinde dönen uydular, 1-2 milyar dolara mal oluyorlar (Öneri halindeki AXAF ve SIRTF da bu kategoriye giriyor). Astronomlar, -hatta bugünlerde- 'büyük bilim' ve 'küçük bilim'in erdemlerini tartışıyorlar. Büyük bilim, az sayıda, göreceli olarak pahalı fakat üstün nitelikli araçlarla yapılan araştırmaları, küçük bilim ise çok sayıda ve ucuz ama düşük nitelikli araçlarla yapılan araştırmaları nitelendirmek amacıyla kullanılıyor. Astronomlar aynı zamanda uluslararası işbirliğinin yararları ile birlikte ulusal ve bireysel olanakların göreceli rollerini de tartışıyorlar. Uzay uçuşları için hangi fırlatma araçlarının kullanılması gerektiği de astronomların tartıştıkları konular arasında.

1990'lar için şimdi önerilen bilimsel projelerden bazıları uygulamaya konmayacak. Zamanlamalar da değişebilir. Bu nedenle metne, önerilen araçların kesin tarihlerini ve bütçelerini koymadım. Bununla birlikte, kitabın sonuna eklenen bir tabloda, önerilen bazı araçlarla birlikte yakın geçmişte görev yapan ve halen yapmakta olan bazı araçların çalışma tarihleri ve bazı küçük bilgiler var.

Tüm astronomi dünyası ve hatta tüm dünya, otuz yıl planlamadan sonra 1990 Nisanında fırlatılan Hubble Uzay Teleskobu'nun odaklama yeteneğindeki başarısızlıkla sarsıldı. Başarısızlıkla ilgili bir araştırma, problemin tasarımdan veya ayrıntılardan değil, teleskop aynasının duyarsız biçimlendirilmesinden ve bu biçimlendirmenin yanlış testlerden geçmesinden kaynaklandığını ortaya çıkardı. Neyse ki gerçekten acı veren bu felaket, gelişmiş astronomi araçlarındaki temel bir eksiklik veya yanlışlığın habercisi değil. Astronominin uzun dönemli amaç ve hedefleri değişmedi. Yıldızlar için zamanımız olmalı.

Bu kitabın hazırlanmasında bilimsel çalışma arkadaşlarımdan büyük yardım gördüm. Özellikle John Bahcall, Sallie Baliunas, Charles Beichman,

Roger Blandford, Alastair Cameron, Marc Davis, James Elliot, George Field, Fred Gillett, Paul Horowitz, Garth Illingworth, Kenneth Kellerman, Bruce Margon, Brian Marsden, Christopher McKee, David Morrison, Philip Myers, Stephen Myers, Robert Noyes, Jeremiah Ostriker, Stephen Ridgway, Robert Rosner, Vera Ruhin, Paul Schechter, David Schramm, Irwin Shapiro, Alar Toomre, Michael Turner, Steven Willner, Sidney Wolff ve Edward Wright'a teşekkür borçluyum. Önerilerinden ötürü yayıncım Michael Millman'a da teşekkür ediyorum. Doğal olarak kitapta kalmış olabilecek tüm sözcük hatalarının sorumluluğunu üzerime almam gerekir. Son söz olarak bu kitapta yer alan projelerin göreceli vurgulanma derecelerinin Ulusal Bilimler Akademisi'nin önceliklerini yansıtmıyor olabileceğini belirtmeliyim.

Giriş

Babillilerin eski yaratılış efsanesi *Enuma Elish'e* göre, anne-babamızı, büyükanne ve büyükbabamızı, onların büyükanne ve büyükbabalarını izleyerek, soyumuzun sıvı halindeki ufuktan sızan çamurdan yaratılan gök tanrısı Anu ve yer tanrısı Nudimmut'a kadar dayandığını bulabiliriz. Ondan önce yalnızca sıvı biçiminde bir karmaşa vardı.

Çağdaş astronomlar, vücutlarımızı oluşturan atomların ufkun ötelerinden geldiğine, yıldızların içindeki nükleer tepkimeler sırasında oluştuktan sonra uzaya püskürtülüp gezegenleri, toprağı ve organik molekülleri oluşturduğuna inanıyorlar. İnsanlığın kökenini inceleyen bu yeni bakış açısı, kaçınılmaz olarak yıldızların, galaksilerin, ve hatta evrenin yaşam öykülerinin bilinmesini gerektiriyor. Geçmişte yaşayan astronomlar, daha çok kalıcı olduğunu düşündükleri evrendeki yıldızların haritalarının çıkarılmasıyla ilgilenmişken, günümüzün astronomları evrimi ve değişimi inceliyorlar.

Astronomi, tarih boyunca Dünya'ya bakış açımızı biçimlendirmiştir. Mevsimler ve gök cisimlerinin hareketleri, doğadaki düzenliliğin ilk örnekleriydiler. Bu nedenle astronomi, en önce gelişen bilim olmuştur. Eski zamanlarda Ege havzasında geliştirilen usturlab, önceleri bir zaman ölçme aracı olarak kullanılmış, daha sonra inşa-nın algılaması dışında bir gerçek olduğu kabul edilen zamanı ölçmek üzere başka saatlerin geliştirilmesine yol açmıştır. İlk olarak perspektifi inceleyen Albrecht Dürer ve diğer sanatçılar tarafından kullanılan 'görünüş ve pencere' kavramı, yıldızların yerlerini bulmak için kullanılan ahşap astronomi araçlarından esinlenilerek yaratılmıştır. On altıncı yüzyılda, Nicholas Copernicus'un öne sürdüğü Güneş merkezli gezegen sistemi, Dünya'yı sahip olduğu ayrıcalıklı konumdan çıkararak, o zamana kadar inanılan 'evrenin insanoğlu için yaratıldığı' düşüncesini sorgulamaya açmıştır. Gezegen yörüngelerinin sabırla incelenmesi sonucu ortaya çıkan Isaac Newton'un kütle çekim

yasası, doğaya ilişkin ilk modern teori olup, sonradan geliştirilen daha pek çok teori için esin kaynağı olmuştur. Edwin Hubble'ın 1929'da keşfettiği evrenin genişlemesi, evrenin değişmediği yolundaki Aristoteles inancını yıkmıştır.

Darwin'in geçen yüzyıldaki çalışmalarının göksel bir yankısı olan astronomideki bulgular, uzaydaki evrimsel süreçler konusunda, akıllarda birçok soru işareti yaratmıştır. Venüs yüzeyinde etkin volkanlar bulduk. Güneş sistemimizi oluşturan ilkel maddenin milyarlarca yıl boyunca kuyruklu yıldızlarda, bozulmadan günümüze kadar saklandığını fark ettik. Hâlâ oluştukları gaz ve toz bulutlarının içine gömülü bulunan, oluşum halindeki yıldızlara tanıklık ettik. Nükleer yakıtlarını bitirdikten sonra kendi ağırlıkları altında çöken yıldızların patlamalarını gördük. Yıldızlardan artakalan maddelerde yaşam için vazgeçilmez olan karbon ve oksijen gibi elementler bulduk. Galaksilerin merkezlerinden dışarıya doğru hemen hemen ışık hızıyla püskürtülen dev gaz sütunları keşfettik. Evrimlerinin değişik aşamalarındaki galaksilerdeki renk ve ışıma gücü değişikliklerini gözledik. Galaksilerin, bir zamanlar inanıldığı gibi uzayda düzgün bir biçimde değil, kökenleri henüz açıklanamayan zincirler ve dev kümeler biçiminde dağıldığını öğrendik. Son olarak biriktirdiğimiz kanıtlardan, evrenin yaklaşık 10 milyar yıl önce olağanüstü bir madde sıkışması ile başladığını öne sürüyoruz. Evren nasıl var oldu? Özelliklerini belirleyen şey nedir? Sonsuza kadar genişlemesini sürdürecek mi yoksa bir zaman sonra yeniden büzülmeye mi başlayacaktır? Yalnızca yüz yıl önce böylesi soruların bilimin ilgi alanı dışında olduğu düşünülüyordu. Bugün ise aynı sorular bilimin neredeyse çekirdeğinde yer alıyorlar. Şimdi, evrendeki her şeyin değiştiğini biliyoruz.

Yeni bulguların çoğunu teknolojideki gelişmelere borçluyuz. 1930'larda geliştirilen yeni iletişim araçları, uzaydan gelen radyo dalgalarının algılanabilmesine yol açtı. Daha önceki binlerce yıl boyunca, görünür ışık, insanoğlunun Dünya'yı inceleyebilmesinin tek yoluydu. 1940'lardan günümüze kadar bir dizi roket ve uydu, uzaydan gelen kızılötesi, morötesi ışınımlar ve X-ışınları saptadılar. Radyo dalgaları gibi insan gözünün duyarlı olmadığı böylesi ışınımlar, gök cisimlerinin, tümüyle yeni özelliklerini ortaya çıkardı, hatta o zamana kadar bilinmeyen gök cisimlerinin bulunmasını sağladı. Elektronik ışık detektörleri fotoğraf plaklarının yerini alarak, gök cisimlerinin görüntülerinin, fotoğraf plaklarının gerektirdiğinden yüz kat daha kısa sürede alınarak

kaydedilmesine ve bu görüntülerin bilgisayarla işlenebilmesine olanak sağladı. Yüksek hızlı bilgisayarlar, her biri bir elektronu, yıldızı ya da galaksiyi temsil eden ve birbirleriyle etkileşen milyonlarca parçacığın yer aldığı simülasyonlara olanak sağlayarak, teorik astronomide tam bir devrime yol açtı. Şu anda birbirlerine elektronik olarak bağlı olan bir dizi radyo teleskop, tek bir dev göz gibi çalışarak veri toplayabiliyor.

1960'larda, ben lisedeyken, bir kafesin içinde oturan ya da bir platform üzerinde ayakta duran astronomlar, teleskobu *gözle* yönlendirirlerdi. Şimdi ise yönlendirme, elektronik olarak yapılıyor. 1960'larda astronomlar, verilerini, teleskobun arkasına bağlanan bir fotoğraf makinesi aracılığıyla kaynakların fotoğraflarını çekerek elde ediyorlardı. Bugün hiçbir büyük teleskobun civarında fotoğraf plaklarına rastlayamazsınız. Yıldızlardan ve galaksilerden gelen zayıf ışık, CCD adı verilen, gelişmiş fotoelektrik hücrelerce kaydedilerek, bilgisayar ortamında depolanıyor. 1960'larda bildiğim tüm astronomlar görünür ışıkla -insan gözünün gördüğü ışık- çalışırlardı. O zamanlar 'gözlem seansı' kavramı vardı. Bir grup astronom toplanarak, yanlarına bir kaç gün yetecek kadar sandviç ve başka yiyeceklerle bulutlu gecelerde okumak üzere güzel kitaplar alır, bir yerlerdeki bir dağ başına gider ve teleskopun başına geçerek ilk adımda yıldızlarla dolu gökyüzünün keyfini çıkarırlardı. Bugünlerde ise büyük 'X-ışınları' ve 'kızılötesi' astronom grupları var. Gözlem seansları ise genellikle uzaktan kumanda ile yönlendiriliyor. Son zamanlarda Einstein X-ışın uydusunun aldığı verilerle çalışan bir arkadaşım, birçok kuasarın incelendiği bir araştırmayı tamamladı. Bu çalışmanın neye benzediğini sorduğumda, tüm vaktini bir bilgisayar ekranı başında geçirdiğini, tuşlara basıp manyetik banda kaydedilmiş olan sayısallaştırılmış kuasar görüntüleri karşısında uzun uzun düşündüğünü söyledi. Üstelik bu bilgiler uydudan yeryüzüne gönderildikten sonra iki bilgisayar tarafından daha işlenmişti. Kuasarı X-ışınlarında 'görmüş olan' uydunun son 10 yıldır çalışmıyor olması önemli değildi. Sayısallaştırılmış veriler saklanabiliyordu.

1990'larda astronomideki keşifler, henüz planlama aşamasında olan yeni ve alışılmadık teknolojiyi ve araçları kullanmanın avantajlarına da sahip olacaklar. Bununla birlikte, geleceğe hazırlanırken kesinliğin yanısıra esneklik de gereklidir. Elimizden geldiği kadar iyi teoriler öne sürüp öngörülerde bulunacağız, ama eğer geçmiş, iyi bir rehber ise, önümüzdeki yılların getireceği bazı keşifler bizi gene de hazırlıksız yakalayacaktır. Astronomide her yönümüz değişmeye hazır cephelerce kuşatılmıştır.

Güneş Sistemimiz ve Diğer Gezegenlerin Araştırılması

Güneş Sistemimizin Oluşumu ve Evrimi

‘Planet’ sözcüğü Yunanca’da ‘hareket eden’, ‘gezen’ anlamına gelir. Türkçe’de biz de aynı kavrama gezegen adını veriyoruz. Sabit yıldızlara göre geceden geceye yer değiştirmelerinden dolayı bu adı alan gök cisimlerinin antik çağlarda bilinenleri beş taneydi: Merkür, Venüs, Mars, Jüpiter ve Satürn. Aristoteles’e göre gezegenler ilahi ve ölümsüz cisimlerdi; Demokritus ise onların rastgele atom kümelenmeleri olduğunu düşünüyordu. Gezegenlerin Dünya ile akrabalığı 1610 yılında Galileo’nun yaptığı ilk teleskopla Jüpiter’in uydularını gözlediğinde ortaya çıktı. Uranüs 1781’de teleskopla rastgele bir gözlem sırasında bulundu. Uranüs’ün yörünge hareketlerini temel alan bir dizi hesaplamalar sonucu varlığı önce teorik olarak öngörülen Neptün 1846’da; Plüton da 1930’da gözlendi.

Bir cisme gezegen denilebilmesi için kütlesinin Güneş’imizin kütlesinin yaklaşık onda birinden küçük olması gerekir. Daha büyük kütleli cisimler merkezlerindeki nükleer yakıtı ateşleyebilecek kadar sıcak olacaklarından kendi enerjilerini üretir ve yıldız olurlar. Bu kütle sınırlarının içinde gezegenlerin boyutları ve kimyasal bileşimleri birbirinden oldukça farklıdır. Güneş sistemimizdeki en büyük gezegen olan Jüpiter’in kütlesi, Dünya’nın kütlesinin 320 katı olup yapısı hemen tümüyle hidrojen ve helyumdan oluşur. En küçük gezegen olan Plüton’un kütlesi ise Dünya’nın kütlesinden 400 kat küçüktür. Dünya’nın kütlesi 6 trilyon trilyon kilogram (Güneş’in kütlesinden 300000 kat küçük), çapı yaklaşık 8000 mil ve yoğunluğu 5 gram/ santimetreküptür (suyun yoğunluğunun beş katı). Dünya’nın Güneş’ten uzaklığı yaklaşık 150 milyon kilometre kadardır. Ortalama olarak en uzak gezegen olan Plüton’un uzaklığı ise bunun kırk katı civarındadır.

Güneş sistemimizin gezegenleri iki gruba ayrılır: ‘Yerküre benzeri’ gezegenler olan Merkür, Venüs, Dünya ve Mars, ile ‘Jüpiter benzeri’ gezegenler olan Jüpiter, Satürn, Uranüs ve Neptün. Güneş’e daha yakın olan Yerküre benzeri gezegenler daha küçük ve daha yoğun olup kayalık ve metalik maddelerden oluşmuşlardır. Jüpiter benzeri gezegenler ise Güneş’e daha uzak ve daha düşük yoğunluğa sahiptir; yapılarında Güneş’in yapısında da en bol element olan hidrojen baskındır. Minik gezegen Plüton bazen Dünya benzeri gezegen olarak sınıflandırılır.

On sekizinci yüzyılda Alman felsefeci Immanuel Kant, Güneş ve gezegen sistemimizin dönmekte olan büyük bir gaz ve toz bulutunun yoğunlaşmasıyla oluştuğunu ileri sürdü. Bulut varsayımı denen bu sav bugün hâlâ kabul görmektedir, ilkel gaz bulutu, kendi çekim etkisi altında yavaş yavaş çöker. En yoğun olan merkezi kısımları Güneş’i oluşturur. Dış kısımları kütle çekim kuvveti nedeniyle dönme ekseni boyunca çökmeye devam eder, ama dışarı doğru etki eden merkezcil kuvvetler nedeniyle de doğrudan Güneş’in üzerine düşemez. Bu iki zıt kuvvetin etkisinde kalan madde, Güneş çevresinde adına ‘ilkel gezegen diski’ denilen yassı bir disk oluşturur. İlkel gezegen diskinin Güneş’e yakın kısımları daha sıcaktır. Bu nedenle hidrojen gibi bazı uçucu gazlar iç bölgelerde ‘buz’ biçiminde yoğunlaşamaz. Ama kaya ve metaller Güneş yakınlarındaki yüksek sıcaklıklarda bile yoğunlaşabilirler. Böyle varsayımlar iç ve dış gezegenlerin yapıları arasındaki kimyasal bileşim farkını kısmen açıklıyor. Son otuz yıldır teorik gökbilimciler bilgisayar simülasyonları yardımıyla nasıl olup da ilkel gezegen diskindeki gaz ve parçacıkların gezegenlere ve uydularına dönüştüğünü araştırıyorlar.

1983 yılında, Yerküre çevresinde yörüngede dönmekte olan Uluslararası Kızılötesi Uydu-su(IRAS) başka yıldızların çevresinde de parçacık diskleri olduğuna ilişkin ipuçları bulduğunda, bulut varsayımına gözlemsel bir destek de sağlanmış oldu. Günümüze dek hemen hemen yakın yıldızların dörtte birinin çevresinde gezegen oluşumundan artakalanlar diye nitelendirebileceğimiz bu parçacık disklerinden bulundu. 1980’lerde de kozmik radyo dalgalarına duyarlı ve eşgüdümlü çalışan teleskoplar, genç yıldızların çevresinde ilkel gezegen diskleri keşfetti. Geriye birçok soru kalıyor. Yörüngedeki parçacıkların doğası nedir? Bu parçacıklar gezegen oluşumunda ne gibi bir rol oynuyorlar? Tam olarak bir ilkel gezegen diskinden gezegenler nasıl oluşuyor ve evrende bu olayın sıklığı nedir?

Yirminci yüzyıla kadar kısmen Aristoteles’ten miras kalan Batı düşüncesinin en önemli dayanaklarından biri durağan evren kavramıydı. Örneğin on dokuzuncu yüzyılda İngiliz jeologu Charles Lyell, geçmişte de yerkürenin bugün olduğu kadar düzgün ve yaşlanmaz olduğunu ileri sürmüştü. Bununla birlikte kanıtlar tersini doğruladı. 1830’ların başında Cape Verde adalarına yaptığı yolculuk sırasında Charles Lyell, derindeki kayaların kristal yapılı ve volkanik, yüzeydeki kayaların ise kireç taşından olduğunu fark etti. Şist ve kireç taşı çökeltileri zamanla birikiyor gibi gözüküyordu. Bitkilerin ve hayvanların fosilleşmiş kalıntıları artık görünmeyen bir dünyanın kanıtı gibiydiler. İlk olarak on dokuzuncu yüzyılın başlarında Alfred Wegener tarafından ileri sürüldüğü gibi, zamanla kıtaların sürüklenip ayrıldığı gösterildi. Ve on dokuzuncu yüzyılın ortalarında İngiliz fizikçi William Thomson’ın çalışmaları ile Dünya’yı ısıtan Güneş’in ısı kaynağının sonsuz olmadığını anladık. Yirminci yüzyılın başlarından itibaren Dünya’nın evrim geçirmediği tezi çöpe atıldı.

Bu yüzyılın başlarında kayalardaki uranyum ve kurşun oranlarını kullanan kimyacılar, Dünya’nın yaşını birkaç milyar yıl olarak saptadılar. Bugün kabul edilen değer 4.5 milyar yıldır. Dört-buçuk milyar yıl önce Güneş’in çevresinde dönen parçacık ve gazlardan Yerküre oluştu. Acaba dört buçuk milyar yıl önce gezegenimizin ilkel okyanusları ve atmosferinde, ilk canlıların dokularındaki amino asit ve proteinleri oluşturan hangi moleküller vardı? Hayatın kaynağı neydi? Daha genel olarak, oluşumu sırasında Güneş sistemimizin ilkel kimyasal bileşimi neydi?

Bu soruların yanıtını yalnızca toprağı kazarak bulamayız. Güneş tarafından ısıtılan ve kendi ağırlıkları altında sıkışan gezegen ve uydular eriyip yeniden donarak doğum kayıtlarını bulanılaştırmışlardır. Diğer yandan vakitlerinin çoğunu Güneş’ten uzak geçiren kuyruklu yıldızların ağırlıkları da azdır. İşte bu nedenle Dünya’mızın ilkel halini anlamak için kuyruklu yıldızlara bakmak gerekir.

1980’lerde Halley kuyruklu yıldızına gönderilen uzay araçları ile Güneş sisteminin ilkel kimyasal bileşimi konusunda ayrıntılı bulgular elde edildi. Astronomlar özellikle Halley’de bulunan karbonun önceden inanıldığı gibi metan ve karbon monoksit gibi basit biçimlerde olmayıp, büyük karmaşık molekül topakları biçiminde olduğunu buldular. Hâlâ oksijen, hidrojen,

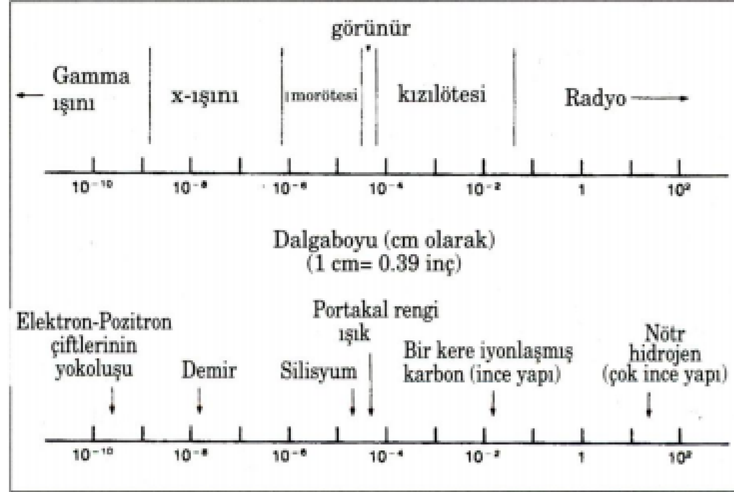
karbon, kükürt ve azotun ilkel biçimleri, özellikle biyolojik önemi olan molekül biçimleri konusunda öğrenilecek çok şey var.

1990'lar için önerilen yeni astronomi uyduları kuyruklu yıldızlar konusundaki bilgilerimizi derinleştirecektir. CRAF (Comet Rendezvous Asteroid Flyby-Kuyrukluyıldız Asteroid Buluşma Gözlemcisi) kuyruklu yıldızları yakından incelemek üzere planlanan ilk uydu olacaktır. Bu konuda yeryüzünde MMA (Millimeter Array-Milimetre Dalgaboyu Gözlemcisi), Yerküre çevresinde yörüngede ise SIRTF (Space Infrared Telescope Facility - Uzay Kızılötesi Teleskobu) görev yapacaktır. Bu araçlar ve diğerleri Jüpiter uzaklığına kadar olan kuyruklu yıldızların boyut ve yapılarını saptayabileceklerdir. MMA radyo dalgalarını

SIRTF ise; kızılötesi ışınımını algılayacaktır. Görünür ışık yayamayacak kadar soğuk olan bu kuyruklu yıldız molekülleri gene de titreşim ve dönmelerini sürdürecek ölçüde enerjiktirler. Molekül titreşimleri kızılötesi ışınımı, dönme hareketleri ise radyo dalgalarını üretir. Her ne kadar bu iki ışınım türü de insan gözüyle algılanamayacak kadar uzun dalgaboyuna sahiplerse de gene de kendi içlerinde bir renk skalaları vardır. Her molekül türü de varlığını yaydığı radyo dalgalarının ve kızılötesi ışınımın özel tayfında gösterir.

Aslında, kimi modern gözlem araçları, insan gözünün görmediği ışınım türlerini algılayabilir. Işık adı verdiğimiz gözle görülen ışınım 'elektromanyetik tayfın küçük bir bölümünü oluşturur. Kızılötesi ışınımın dalgaboyu görünür ışıktan daha uzundur, radyo dalgalarının dalgaboyu ise daha da uzundur.

Tayfın diğer ucunda, tümünün dalgaboyları görünür ışıktan daha kısa olan morötesi ışınımı, X-ışınları ve gamma ışınları yer alır. Her ne kadar sözü edilen bu çeşitli ışınım türleri değişik adlar almakta iseler de, tümü benzer enerji biçimleri olup farklı olan yalnızca dalgaboylarıdır. Elektromanyetik tayfın görünür ışık bölgesinde değişik dalgaboyları farklı renklere karşılık gelir. Görünür ışıkta en kısa dalgaboylu renk mavi, en uzun dalgaboylu renk ise kırmızıdır. Nasıl görünür ışık bir prizma yardımıyla bileşen renklerine ayrılabiliyorsa, X-ışınları veya kızılötesi ışınım da bileşen dalgaboylarına ayrılabilirler. Gelen ışınımın her dalgaboyundaki enerji miktarı, bu ışınımı üreten atom ya da molekül türlerinin parmak izi gibidir.



Şekil 1. *Gamma ışınlarının, X-ışınlarının, morötesinin, görünür ışığın, kızılötesinin ve radyo dalgalarının dalgaboyu aralıklarını gösteren elektromanyetik tayf. Bu çok büyük dalgaboyu aralığını gösterebilmek için sağa doğru gidildikçe onla çarpılan bir birim skalası kullanılmıştır. Şekilde aynı zamanda bu altı çeşit ışınımı yayan atom ve molekül örnekleri de gösterilmiştir.*

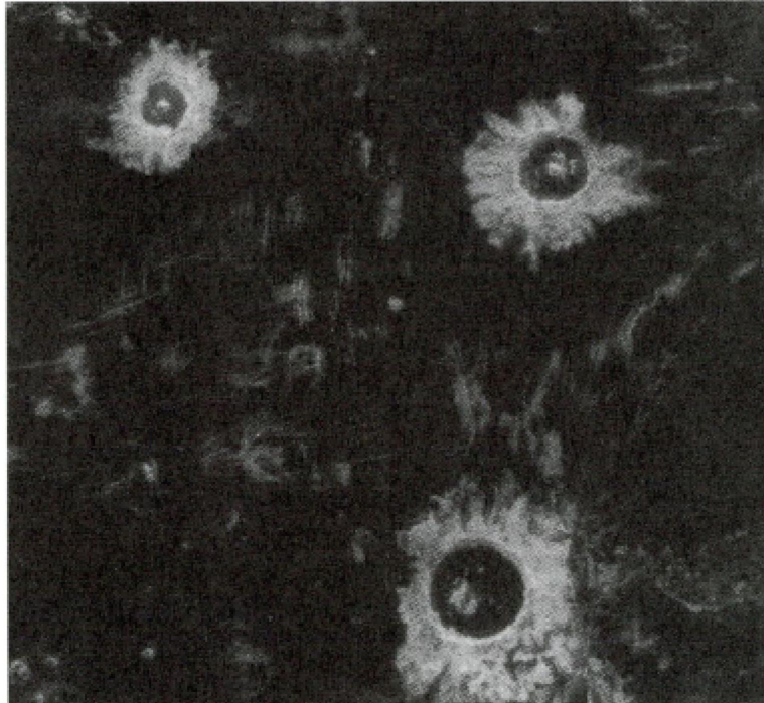
Ne yazık ki yalnızca radyo dalgaları ve görünür ışık Yerküre'mizin atmosferinden soğurulmadan geçebilirler.

Elektromanyetik ışınımın dalgaboyu aralığı gamma ışınları için 0.000000001 cm'den başlayıp radyo dalgalarının dalgaboyu olan 0.03 cm'ye kadar uzanır. Bu çok büyük aralıktaki sayıları kolayca ifade edebilmek için bilim adamları bilimsel gösterim adı verilen bir tür kısaltma kullanırlar. Örneğin 0.000000001 sayısı 10^{-9} biçiminde yazılabilir. '-9' sayısı l'den *önce* dokuz tane sıfır olduğunu gösterir (Ondalık noktanın solundaki sıfır da sayıya dahildir). Benzer biçimde 0.001 sayısı da 10^{-3} biçiminde yazılabilir. Bilimsel gösterim aynı zamanda üssün önündeki eksi işareti kaldırılarak birden büyük sayıları göstermek için de kullanılabilir. Örneğin 10000, 10^{4} biçiminde yazılabilir. Buradaki 4 sayısı 1'den sonra dört tane sıfır bulunduğunu gösterir.

Galaksimizi ve galaksi dışını inceleyen astronomlar teorilerini tümüyle, çok uzaklardan gelen çok sönük ışığa dayandırmak zorundadırlar. Ama gezegenleri inceleyen astronomlar inceledikleri yerlere gidebilirler. Son otuz yılda Mariner, Pioneer, Viking ve Voyager uzay araçları çoğu gezegenlere 15.000 km. kadar yaklaşarak Dünya'ya, Satürn'ün halkaları Mars'ın toprağı, Uranüs'ün çevresindeki yeni uydular Jüpiter, Satürn ve Venüs'ün atmosferleri , Uranüs çevresindeki manyetik alan ve Jüpiterin bir uydusunun üzerindeki aktif volkanlar konusunda şaşırtıcı bilgiler gönderdi.

Bu uydulardan elde edilen bulguların hem temel bilimler hem de üzerinde yaşadığımız gezegenin anlaşılmasına yönelik birçok sonuçları olmuştur. Örneğin Güneş sistemindeki gezgenlerin atmosferlerinin incelenmesi, kendi gezegenimizdeki insan yapısı değişikliklerin önlenmesinde bize yardımcı olabilir. Venüs'ün atmosferi hemen tümüyle karbondioksitten oluşmuştur. Bu gaz Güneş ışınlarının atmosfere girmesine izin verir ama dışarı kaçmasına izin vermez. Dolayısıyla, gezegenin çevresini saran dev bir battaniye gibi davranır. Sonuç olarak gezegenin yüzeyi dört yüz dereceye kadar ısınır. Bu olaya 'sera etkisi' denir. Bir zamanlar Venüs de Dünya benzeri (çoğunlukla oksijen ve azottan oluşan) bir atmosfere sahip olmuş olabilir. O zamanlar atmosferdeki sıcaklık büyük olasılıkla oldukça düşüktü. Venüs şimdiki durumuna nasıl geldi ? Uzay araçlarından alınan bilgiler ve yeryüzünden yapılan gözlemler bu soruyu yanıtlamamıza yardımcı olabilir.

1970'lerin ikinci yarısında Viking uzay aracı hayat olup olmadığını araştırmak üzere Mars yüzeyine indi. Güneş sistemindeki tüm gezegenler içinde Dünya'dakine en çok benzeyen koşullar Mars'ta olduğu için bilim adamları orada hayat olabileceğini düşünüyorlardı.



Şekil 2. *Venüs yüzeyindeki kraterlerin Magellan uzay aracından radar yardımıyla çekilmiş fotoğrafları. Görülen kraterlerin boyutları 40-50 kilometre arasındadır. Resimde volkanik kökenli kubbecikler de görülüyor.*

Robotlar Mars toprağını toplayıp, yaşayan mikro organizma olup olmadığını araştırdılar. Hiçbir şey bulunamadı. 1979’da Voyager uzay aracı beklenmedik bir şekilde Jüpiter’in uydularından biri olan İo üzerinde aktif volkanların varlığını saptadı. Aslında İo volkanik olarak Güneş sistemindeki en aktif uydudur. Volkanik patlamalar öylesine sık ve yaygındır ki Güneş sisteminin tarihi boyunca İo’nun yüzeyi birçok kez kükürtlü lavlarla kaplanmış olmalıdır. Volkanların dikkatlice izlenmesi uydunun içinden dışına doğru ısı akış miktarının saptanmasına olanak verdi. Bu enerji nereden geliyor? İo’nun içindeki radyoaktivite yeterli gibi görünmüyor. Bunun yerine astronomlar volkanik enerjinin kaynağının Jüpiter’in ve diğer uydularının İo üzerindeki çekimsel etkilerinden kaynaklanan gelgit sürtünmesi olduğunu ileri sürüyorlar. İo’nun yaydığı kızılötesi ışınımı ve radyo dalgalarının ayrıntılı incelenmesinden volkanik maddenin gerçek doğasının anlaşılabileceği sanılıyor.

Şu anda iki uydu, Magellan ve Galileo, Güneş sistemi içinde yollarına devam ediyorlar. Magellan uydusu Venüs’e Ağustos 1990’da ulaştı. Kalın atmosfer katmanlarını ve bulutları delmek için radar kullanan uydu, gezegenin bir haritasını hazırladı. Birçok krater, hâlâ lav püskürten volkanlar, birbirinden kilometrelerce uzak ve paralel parlak kırık çizgilerin bulunduğu bölgeleri gören bilim adamları çok şaşırdılar. Bu kuvvetli jeolojik aktivitenin kaynağı halen bilinmiyor. Galileo’nun Jüpiter’e 1995’de ulaşması bekleniyor. [Galileo, 1995 Ağustos’unda Jüpiter’e ulaştı, (ç.n.)]

Gezegenleri inceleyen astronomlar Güneş sistemini keşfetmek için hiçbir şekilde uydulara bağlı değiller. Örneğin, 1977’de özel olarak hazırlanmış bir uçağa yerleştirilmiş olan bir teleskopla o zamanlar Cornell Üniversitesi’nde çalışan James Elliot ve ekibi Uranüs’ün çevresindeki halkaları keşfettiler. Bir yıl sonra, Birleşik Devletler Naval Observatory’den James Christy, Plüton’un bir uydusunu keşfetti. Bu uyduya, ölülerin ruhlarını Plüton tarafından yargılanmak üzere yeraltı dünyasındaki nehirde karşıdan karşıya geçiren, mitolojik denizci olan Charon’un adı verildi. Charon’un yörüngesinin dikkatlice gözlenmesinin sonucu ilk kez Plüton’un kütlesi ve çapı ölçüldü : Dünya’nın kütlesinin 1/400’ü ve Dünya’nın çapının 1/4’ü . Dünya’nın yoğunluğunun ancak 1/7’si kadar olan düşük yoğunluğundan dolayı astronomlar Plüton’un yapısının Dünya benzeri kayalardan değil, katı metandan oluştuğuna inanıyorlar.

Gelecekte Uzak - Kızılötesi Astronomisi Stratosfer Uydusu’nun (Stratospheric Observatory for Far- Infrared Astronomy - SOFIA) hem Plüton’nun hem de diğer gezegenlerin atmosferleri ve yüzey yapıları hakkında belirleyici bilgiler vereceği düşünülüyor. SOFIA bir uçakla yeryüzünden 15 km. yükseğe çıkarılacak. SOFIA’nın ışık toplama yüzeyi büyük aynaları ve diğer araçları, gelen ışığı oldukça büyük bir duyarlılıkla bileşen dalga boylarına ayıracak. SOFIA’nın görevlerinden bir tanesi de Mars’taki minerallerin türlerini ve yerlerini belirleyerek gezegenin jeolojik tarihini aydınlatmak.



James Elliot, 17 Haziran 1943’te Columbus, Ohio’da doğdu. 1965 yılında Massachusetts Teknoloji Enstitüsü’nden fizik diploması aldıktan sonra, 1972 yılında da Harvard’da astronomi dalında doktorasını bitiren Elliot, Cornell’de doktora sonrası çalışması yaptı. 1978 yılında gezegen astronomisi profesörü ve George R. Wallace Astrofizik Gözlemevi direktörü olarak M.I.T.’ye geri döndü. Elliot’un araştırmalarındaki temel ilgi alanı, dış gezegenlerin halkalarını ve atmosferlerini incelemektir. Bu gezegenler bir yıldızın önünden geçerken yıldızın ışığındaki değişimleri dikkatle gözleyen Elliot, gezegenin atmosferi konusunda oldukça önemli bilgiler elde eder. Elliot ve arkadaşları, 1977 yılında Uranüs’ün halkalarını ve 1983 yılında da Plüton’un bir atmosferi olduğunu bulmuşlardır. Elliot şöyle diyor: “Gezegenlere gönderilen uzay araçları, gezegenler hakkında çok ayrıntılı bilgiler sağladı. Ama gene de Güneş sistemi hakkındaki pek çok kritik sorunun yanıtı, Yeryüzünden ya da Yerküre çevresindeki yörüngelerinden gözlem yapan teleskoplarla bulunabilir. Acaba Güneş çevresinde dönen bilmediğimiz cisimler, hatta Plüton’un yörüngesinin dışında başka gezegen var mı? Başka yıldızların çevresinde gezegenler olabilir mi? Eğer varsa, bu gezegenlerde yaşam izleri bulabilir miyiz? Acaba asteroidler, kuyruklu yıldızlar ve halka sistemleri nasıl oluştu ve evrim geçirdi? Gezegenlerde iklim değişikliklerine sebep olan şey nedir? 1990’ların yeni teleskop ve detektörleri, bu soruları yanıtlamamıza yardım edeceklerdir.”

Acaba Güneşin değişen etkinlik düzeyi gezegenimizi nasıl etkiledi? Teorik hesaplamalara bakılacak olursa birkaç milyar yıl önce Güneş şimdikinden %25 daha sönüktü. Acaba bunun sonucu olarak Dünya’nın sıcaklığı da daha mı düşüktü? Yoksa o zamanlar daha mat olan Dünya’nın atmosferi, Güneşin sıcaklığını daha iyi tutarak bu düşük sıcaklığı karşılıyor muydu? Güneş’in, oluşumu sırasında yüzey tabakalarını dışarıya püskürterek Güneş sistemi içinde her yöne doğru kuvvetli bir tür rüzgar

oluşturduğu konusunda kanıtlarımız var. Acaba bu kuvvetli ‘Güneş rüzgarı’ gezegenler arasındaki tozu süpürmüş ve Dünya’nın ilkel atmosferinin yapısını değiştirmiş olabilir mi? İklim nasıl etkilenmiş olabilir? Bu soruların yanıtlarının çok azı biliniyor. Son yıllarda bilim adamları iklimin, Dünya’ya çarpan kuyruklu yıldızların bombardımanı sonucu atmosfere karışan ve Güneş ışınlarını engelleyen toz bulutları tarafından da değiştirilmiş olabileceğini ileri sürüyorlar.

Eski olaylara yeni gözlüklerle bakınca değişik şeyler görünüyor. Bunun en iyi örneği Jüpiter’in Büyük Kırmızı Lekesi. Üç yüz yıl önce ilk gözlendiğinde Büyük Kırmızı Leke 32.000 km. çapında -ki bu gezegenin çapının beşte biridir- kırmızımsı bir elipsti. Yüzyıllar boyunca astronomlar Büyük Kırmızı Lekenin gezegenin yüzeyindeki sabit bir şekil olduğunu düşündüler. Bununla birlikte son yıllarda Lekenin Jüpiter’in atmosferinde olduğu anlaşıldı. Sürekli hareket halinde olan bu Leke altı günde bir kendi çevresinde saat yönünün tersine bir tur atıyor. 1978’de Voyager’ın gönderdiği yakın plan fotoğraflar daha da fazla bilgiyi gün ışığına çıkardı. Leke, hızla dönen gazlar ve sıvılardan oluşan siklonun bir parçasıdır. Bu çalkantının ortasında Leke yapısını yüzyıllar boyu nasıl korumuş olabilir? Yanıt, Berkeley’deki Kaliforniya Üniversitesi’nde yeni bir bilim dalı olan nonlineer dinamik ya da ‘kaos’ teorisi üzerine araştırmalar yapan teorisyen Philip Marcus’tan geldi. Her ne kadar düzensiz olaylara ilişkin tüm kavramlar henüz tam açıklığa kavuşmadıysa da, teori karmaşanın ortasında mucizevi bir biçimde kararlılık adalarının bulunabileceğini gösteriyor. Büyük Kırmızı Leke işte böyle bir yerdir.

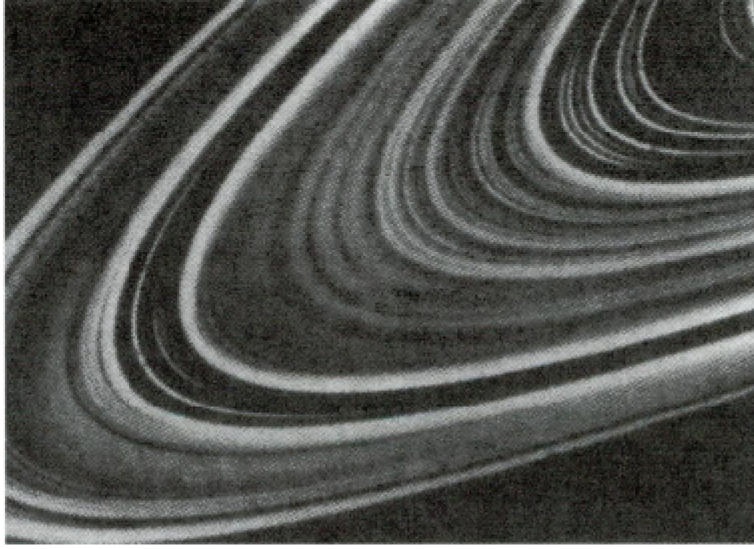
Philip Marcus, Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü’deki öğrenciliği sırasında kuvvetli bir teorik fizik eğitimi aldı. Doktorasını da Princeton’da yaptı. Marcus’un doktora tezi daha çok yıldızların dış katmanlarında bulunması beklenen çalkantılı akışkanların davranışıyla ilgiliydi. Bu tür sıvıların teorisi son derece karmaşık olduğundan, Marcus ne olup bittiğini tam olarak anlamasına yardım edecek basitleştirilmiş bir bilgisayar çalkantı simülasyonu programı geliştirdi. Aynı zamanda elde ettiği sonuçları çalkantılı akışkanlarla ilgilenen başka bilim adamlarının deney sonuçları ile karşılaştırmaya başladı. Aslında bu deneylerin gerçekleştiği koşullar yıldızlardaki koşullardan çok farklıdır. 1970’lerin ortalarında Marcus doktora tezini hazırlarken iki şey oldu. Birincisi, uzun yıllar çok küçük bir bilim adamları topluluğunun tekelinde kalan ve marjinal olduğu düşünülen kaos teorisi bilim gündeminde ilk sıralara yükseldi. Kaos teorisinin ana

özelliklerinden biri, doğadaki gerçek sistemlerin bilim adamlarının kullandığı basitleştirilmiş, ‘lineer’ denklemlerden çok daha karmaşık olmasıdır. Örneğin; ‘non lineer’ etkiler göz önüne alındığında fiziksel bir sistemin başlangıç koşullarındaki küçük değişmeler, genelde gözlendiği gibi, bu sistemlerin davranışlarında büyük değişikliklere yol açabilir. Marcus bilgisayarla non lineer denklemleri çözdü. İkinci gelişme, Voyager ve onun çektiği Jüpiter fotoğraflarıydı. Marcus Jüpiter’in Büyük Kırmızı Leke’sini incelemek üzere bir bilgisayar programı hazırladı. Çok geçmeden gelişmiş bilgisayar programları yardımıyla hızla dönen gaz bulutları içinde hiç kaybolmayan lekeleriyle birlikte hayali gezegen atmosferlerinin renkli simülasyonlarını hazırlamaya başladı. Hâlâ başlangıç aşamalarında olmasına karşın kaos teorisinin fizikten astronomiye ve biyolojiye kadar birçok bilim dalma önemli birleştirici katkıları oldu.

Astronomi ile ilgili olarak çok uzun zamandan beri sorulan bir soru da şudur: Gezegenlerin birbirleri üzerindeki sürekli değişen etkileri göz önüne alındığında Güneş sistemi sonsuza kadar dağılmadan varolabilecek midir? On yedinci yüzyılda çekim teorisi nedeniyle bu problemi inceleyen Isaac Newton arasıra ‘tanrısal düzeltmeler’ olmadığı sürece gezegen yörüngelerindeki ‘düzensizliklerin’ gittikçe daha fazla birikeceğini inanıyordu. Bir yüzyıl sonra Fransız matematikçi ve fizikçisi Pierre-Simon Laplace uzun matematiksel hesaplamalar sonucu büyük bir zevkle, tanrısal bir yardım olmadan da gezegen sisteminin kendisini dengede tutabileceğini iddia etti. Bu yüzyılın son on yılında yeni matematiksel analiz yöntemleri ve özel olarak tasarlanmış bilgisayarlar yardımıyla da bu güç sorunun yanıtlanmasına çalışıldı. Her ne kadar net yanıt henüz bilinmiyorsa da Massachusetts Teknoloji Enstitüsü’nden Jack Wisdom ve diğerleri teorik hesaplamalar sonucunda Güneş sistemindeki küçük gezegen ve uyduların ara sıra rastgele hareketler yapabileceğini, bazen bir süre dengeli ve düzgün hareket ettikten sonra tekrar düzensiz hareketlerine dönebileceklerini gösterdiler.

Teorik astronomların uğraştığı bir başka bilmece olan gezegen çevresinde bulunan halkalardaki kütle çekim kuvveti, egzotik değilse bile yaşamsal bir rol oynar. Gezegen çevresinde yörüngede bulunan küçük parçacıklardan oluşan Satürn’ün güzel halkaları on yedinci yüzyıldan beri büyük bir hayranlıkla izlenmektedir. 1970’lerin sonunda, Uranüs çevresinde de halkalar keşfedildiğinde bu halkaların dar olduğu ve gezegenden belli uzaklıklarda yer aldıkları bulundu. Neden? 1980’de Kaliforniya Teknoloji

Enstitüsü'nden Peter Goldreich ve Toronto Üniversitesi'nden Scott Tremaine, Uranüs çevresinde varlıkları daha önce bilinmeyen birçok uydu bulunduğunu öne sürdüler. Teorik olarak bu yeni uydular 'çobanlar' gibi davranarak kütle çekim kuvvetleri yardımıyla yörüngede bulunan parçacıkları belli bölgelere toplayabilirlerdi. Daha sonraları Uranüs'e yaklaşan Voyager uzay aracı teorik olarak sözü edilen bu uydulardan bazılarını gerçekten buldu.



Şekil *3. Voyager uzay aracından çekilmiş olan Satürn'ün halkalarının fotoğrafı. Farklı tonlar, farklı madde bileşimlerini gösteriyor.*

Uyduların hem kabaca kütleleri hem de bulunmaları gereken yerler doğru hesaplanmıştı (Aslında teori, uzay aracı Satürn yakınından geçerken yeni bir halka ve bu halkanın her iki yanında 'çoban' uydular keşfettiğinde beklenmedik bir biçimde doğrulanmıştı). 1990'larda gezegen halkaları teorilerimiz Neptün'ün halkaları tarafından sınanacak. Şu anda elimizde bu halkalar konusunda çok veri yok, olanlar da tümüyle açıklanamıyor.

Başka Gezegenlerin Araştırılması

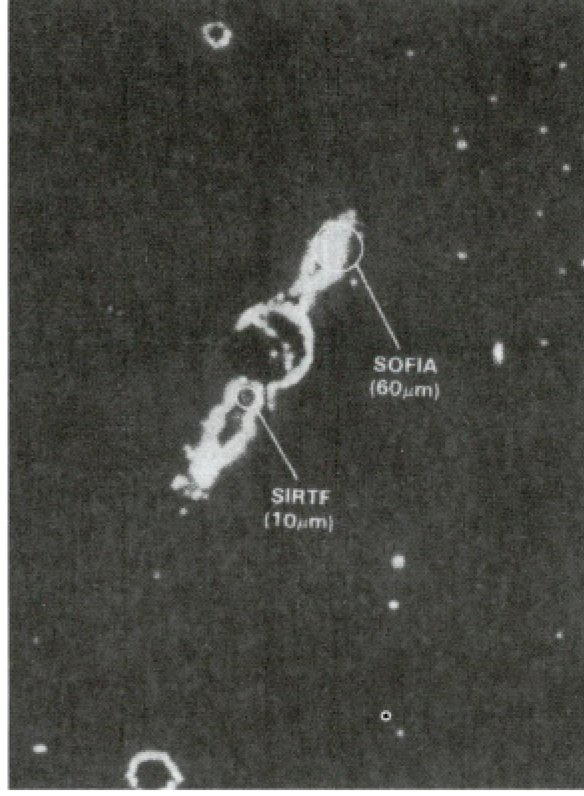
On altıncı yüzyılın sonlarında İtalyan felsefeci Giordano Bruno, uzayda sonsuz sayıda gezegen sistemi bulunduğu ve bu sistemlerin her birinde çok çeşitli canlıların yaşadığı fikrini tartışmaya açtı. Bu ve diğer fikirleri nedeniyle Bruno bir kazığa bağlanıp yakılarak öldürüldü. Ama soru hâlâ yaşıyor: Acaba evrende başka gezegen sistemleri var mı?

İlk olarak 1980'lerde başka yıldızların çevresinde madde diskleri bulunduğu yolunda kanıtlar elde edildi. Ne yazık ki bu gözlemler son

derece zor olduğundan kanıtlar da çok sınırlı kaldı. Bugüne kadar Güneş'imizden başka bir yıldızın çevresinde herhangi bir gezegen olup olmadığı konusunda kesin bir bulgu elde edilemedi. Bununla birlikte 1990'larda uzaya gönderilecek yeni araçlar, eğer varsa diğer gezegen sistemlerini bulabilecek.

Uzak gezegenlerin doğrudan saptanması hiç de kolay değildir. Güneş sistemimizdeki gezegenler geceleyin Güneş görülmediği için ondan aldıkları ışığı yansıtmaları nedeniyle kolayca görülürler. Öte yandan Dünya'dan diğer Güneş sistemlerine bakıldığında merkezî yıldız hiçbir koşulda gizli kalmaz. Nasıl bir projektörün ışığı yakınında bulunan ateş böceğinin ışığını görünmez hale getirirse, merkezdeki yıldızın kuvvetli ışığı da gezegenlerinkini bastırarak onları gizler. Buna ek olarak çok büyük uzaklıklardan yıldız ve çevresindeki gezegen birbirlerine o kadar yakın görünürler ki ayırdedilmeleri hemen hemen olanaksızdır.

Neyse ki gezegenleri bulmanın başka yolları da var. Jüpiter boyutlarında ve daha büyük olan gezegenlerin kendileri de ışınım yayarlar. Kızılötesi dalga boylarında yayılan bu ışınımın kaynağı, gezegenlerin çok yavaş gerçekleşen büzülmeleri ve çekimsel enerjinin serbest kalmasıdır. Yıldızlar ise enerjilerinin çok küçük bir bölümünü kızılötesi ışınım olarak yayarlar. Dolayısıyla bu dalga-boylarında gezegenleri yakınlarındaki yıldızlardan ayırd etmek daha kolaydır.



Şekil 4. *Dünya'dan yaklaşık altmış ışık yılı uzakta olan Beta Pictoris yıldızının görünür ışıkla çekilmiş bir fotoğrafı. Merkezdeki şişkin bölge çevresindeki disk, yıldız çevresinde yörüngede dönmekte olan katı maddeden oluşmuştur. Henüz biçimlenmekte olan bir gezegen sistemine benzemektedir. Disk, kuvvetli kızılötesi ışınım yaymaktadır. Fotoğraf üzerine çizilmiş olan iki çember, öneri halindeki SIRTF ve SOFIA araçlarıyla elde edilebilecek açısal çözümleme ya da 'ışın demeti boyutları'nı gösteriyor. Bu araçlarla diskin çok daha ayrıntılı görüntülerini elde etmek mümkün olacak.*

Önerilen Kızılötesi Uzay Teleskobu, Jüpiter boyutlarında bir gezegeni Güneş'e en yakın yıldız olan Alpha Centauri uzaklığından -ki bu yaklaşık 40 trilyon kilometredir- saptayabilecektir. Daha büyük uzaklıklarda gezegeni yıldızdan ayırt edebilmek için birbirlerine olan uzaklığın daha büyük olması gereklidir.

Uzaydaki uzaklıklar çok büyük olduğundan astronomlar, kozmik uzaklıkları kilometre yerine ışık yılı olarak ölçmeyi tercih ederler. Bir ışık yılı, ışığın bir yılda aldığı yoldur ki bu da yaklaşık olarak 10 trilyon kilometreye eşittir. Bu birimle söylemek gerekirse, Alpha Centauri dört ışık yılı uzaktadır. Kızılötesi Uzay Teleskobu yüz ışık yılı uzaktan, merkezî yıldıza olan uzaklığı Jüpiter-Güneş uzaklığının yirmi katı olmak kaydıyla, Jüpiter'den on kat daha büyük kütleli bir gezegenden kaynaklanan kızılötesi ışınımı algılayabilecektir. Yıldızlarla gezegenler arasında böylesine büyük uzaklıklar gerçekten bulunabilir ve yüz ışık yılından daha yakın olup

incelenebilecek binlerce yıldız vardır. Ne yazık ki Yerküre boyutlarında bir gezegen yeterli kızılötesi ışınım yaymadığından yakın bir gelecekte saptanması olasılığı hemen hemen yok gibi.

Gezegen araştırmalarında kullanılan dolaylı bir yöntem daha vardır. Bir gezegen sisteminin merkezî yıldızı, çevresinde dönen gezegenlerden kaynaklanan kütle çekim kuvvetlerinin değişmesi nedeniyle hafifçe ‘yalpalar’. Bu yalpalamanın genliği çok küçüktür. Örneğin Jüpiter’in çekim gücü, Güneş’in, çapı 1.5 milyon kilometre olan bir çember üzerinde hareket etmesine neden olur; ki bu büyüklük Güneş’in kendi çapına eşittir. Yaklaşık dört ışık yılı olan Alpha Centauri’nin uzaklığında, konumdaki bu kayma bir derecenin milyonda biri kadar bir açısal kaymaya neden olacaktır. Başka bir deyişle 400 kilometre uzaklıktan görülen madeni bir paranın çapı kadar bir kayma söz konusudur. Yerkürenin atmosferi gelen ışığı dağıtarak yıldız görüntülerinin bulanıklaşmasına neden olduğundan yerden gözlem yapılan optik teleskoplarla bir yıldızın konumundaki bu kadar küçük kaymaları ölçmek olanaksızdır. 1990 yılında Yerküre çevresinde bir yörüngeye yerleştirilen Hubble Uzay Teleskobu ise atmosferin dışındadır. Hubble’ın açısal ayırma gücünün, çevrelerinde gezegen bulunan yıldızların yalpalamalarını on ya da yirmi ışık yılı uzaklıktan algılamaya yeteceği, dolayısıyla da teleskopun bir düzine kadar gezegen sistemi adayını kapsamlı bir biçimde inceleyebileceği düşünülüyor.

Önümüzdeki on beş-yirmi yılda devreye girmesi beklenen yeni eşgüdümlü uzay teleskop sistemleri daha da iyisini yapabilecek. Bu sistemler, çok küçük farklarla ayrı yönlerden gelen ışık dalgaları arasındaki değişen örtüşme miktarlarını ölçerek kaynağın konumunu çok duyarlı bir biçimde saptayabiliyorlar. Şu anda geliştirilme aşamasında olan böylesi teleskopların gezegen sistemlerinin varlığını 300 ışık yılı uzaktan saptayabilecekleri sanılıyor. Yeryüzünde çalışır duruma gelmeleri on yıldan daha yakın olan eşgüdümlü teleskopların da şu anda çalışan optik teleskopların açısal çözünüm gücünü arttırmaları bekleniyor. Uzun vadede, astronomlar eşgüdüm altında çalışan teleskopları Ay yüzeyine yerleştirmeyi planlıyorlar.

Çevresinde gezegen sistemi bulunan yıldızların, gezegenlerinin çekimsel etkilerinin sonucu olarak yaptıkları hareketler Doppler kayması adı verilen bir etki yoluyla saptanabilir. Ses ve ışık dalgalarının dalgaboyları kaynak ve gözlemcinin göreceli hareketleri nedeniyle değişikliğe uğrar. Sesin

dalgaboyundaki bu değişme tizliğinin değişmesiyle kendini gösterir. Yaklaşmakta olan bir trenin düdüğünün sesi, aynı tren durmakta iken çaldığı düdüğün sesinden daha tizdir, bu tren uzaklaşırken ise düdüğünün sesini daha pes(kalın) olarak algılarız. Işıkta ise tizlik ölçüsünün karşılığı renktir. Gözlemciye doğru hareket halinde olan bir kaynaktan yayılan ışığın dalgaboyu daha kısa dalgaboylarına, yani tayfın mavi ucuna doğru kayar. Gözlemciden uzaklaşan bir kaynaktan yayılan ışığın dalgaboyu ise daha uzun dalga-boylarına yani kırmızıya kayar. Çevresinde gezegen sistemi bulunduran bir yıldız, gezegenlerin çekimsel etkisi nedeniyle yalpalama türü bir hareket yaparken Dünya'ya yaklaşmakta olduğu sırada ışığı maviye, uzaklaşmakta olduğu sırada da kırmızıya kayar. Saniyede birkaç yüz metre hıza karşılık gelen bu kaymalar çok küçük olmakla birlikte şu anda geliştirilmekte olan araçlarla ölçülebilir. Bu araçların tayfsal çözüm gücü adı verilen duyarlı renk ölçme yetenekleri oldukça yüksektir.

Oluşum halindeki gezegenler, genç yıldızların çevresindeki gaz diskleri incelenerek ortaya çıkarılabilir. Kızılötesi Astronomi Uydusu (IRAS) bununla bağlantılı olarak yıldızların çevresindeki yörüngelerinde dönen, kızılötesi ve radyo dalga-boylarında ışınım yapan parçacık diskleri buldu. Bununla birlikte IRAS'ın açısal çözüm gücü yetersiz olduğundan bu disklerin ayrıntıları incelenemedi. Gezegen oluşturan disklerin boyutlarının Güneş sistemimizin boyutlarından -yaklaşık olarak bir ışık yılının binde biri- daha büyük olmadığına ve en yakın gezegen oluşum bölgesinin 300 ışık yılı uzakta olduğuna inanılıyor.

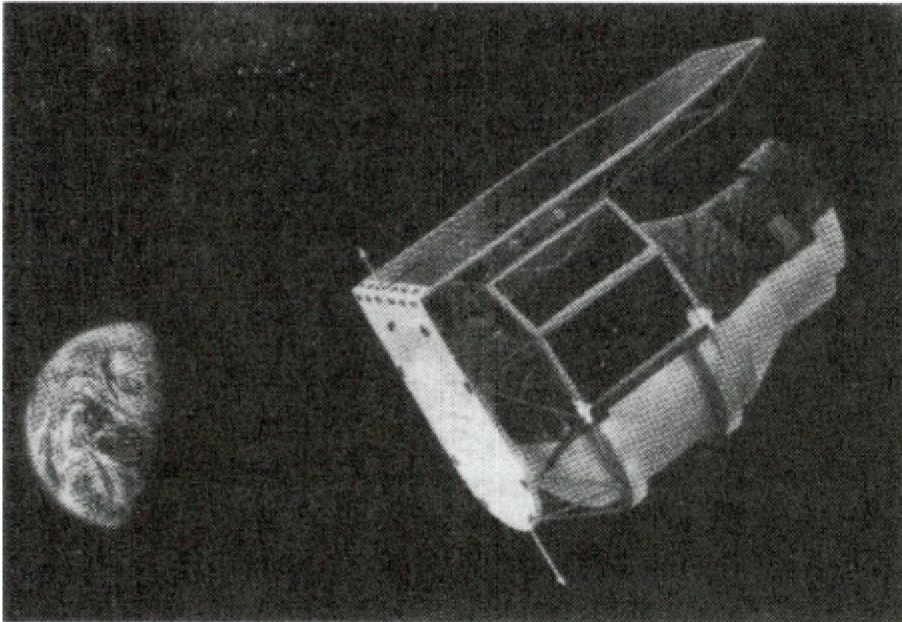
Bu sayılar tüm bir gaz diskinin Dünya'dan gözlenebilecek açısal çapının 0.0002 derece civarında olabileceği anlamına geliyor ki bu da beş kilometre uzaktan bir madeni paranın görüldüğü açısal çap demektir.

Bununla birlikte bu çok küçük boyutlar bile önümüzdeki on-on beş yılda algılanabilir hale gelebilir. Radyo dalgaboylarında gözlem yapacak olan, öneri halindeki Milimetre Dalgaboyu Gözlemcisi 0.00003 derece kadar küçük ayrıntıları algılayabilecek yetenekte olacak. Gene öneri halindeki Kızılötesi Uzay Teleskopu (SIRTF) da gezegen oluşum disklerinin araştırılmasında temel bir astronomi aracı olacak. Bu yeni kızılötesi teleskopun açısal çözüm gücü, atası sayılabilecek IRAS'tan on kat daha iyi olacak ki bu da 0.0002 derece kadar küçük ayrıntıların seçilmesi anlamına geliyor. Kızılötesi Uzay Teleskopunun duyarlılığı da IRAS'tan *bin-milyon kat* daha fazla olacak. Dolayısıyla da bin-milyon kat daha zayıf kozmik

ışınımları algılayabilecek (Duyarlılık açısından SIRTF ile IRAS arasındaki fark, büyük optik Hale teleskopu ile çıplak göz arasındaki farka eşittir). Gezegen oluşum disklerinin yaydığı kızılötesi ışınımı incelemek yoluyla SIRTF bu disklerin sıcaklığını, yoğunluğunu ve yapısını saptayabilir ki bunlar da gezegenlerin oluşumu konusunda son derece önemli bilgilerdir. Belki de en önemlisi sürprizler olacak. Astronomi tarihine bakıldığında yeni gözlem araçlarının duyarlılığındaki sıçramak gelişmelerin çoğu zaman tahmin bile edilemeyen keşiflere yol açtığı görülür.

Beş ton ağırlığında ve yaklaşık beş metre boyundaki SIRTF, uzaya gönderilerek hemen hemen sekiz Dünya çapı yüksekliğindeki bir yörüngeye yerleştirilecek. Yörüngedeki SIRTF, atmosferden geçemeyen ışınımı algılayabilecek. Yörünge çapı da büyük olması ve Dünya'ya olan uzaklığı nedeniyle de Dünya'mız uydunun görüş açısını hemen hemen hiç engellemeyecek. SIRTF'nin fırlatılmasından önce Avrupa Uzay Ajansı, özellikleri IRAS ve SIRTF arasında olan Kızılötesi Uydu Gözlemevi'ni yörüngeye yerleştirecek. Böylece uzaydaki kızılötesi ışınım konusundaki bilgilerimizin daha da netleşeceği tahmin ediliyor.

Yeryüzünden gözlem yapacak yeni kuşak optik teleskopların açısal çözümleme güçlerinin de, gezegen oluşum disklerini ve çok küçük açısal boyutlara sahip diğer cisimleri inceleyebilecek ölçüde arttırılmaları gerekiyor. Bu öneri halindeki yeni teleskoplardan biri de Hawaii Adası'ndaki sönmüş bir volkan olan Mauna Kea'nın zirvesine yerleştirilecek olan 8 metrelik Kızılötesi Teleskobudur.



Şekil 5. Dünya çevresindeki yörüngesinde dönecek olan kızılötesi ışınıma duyarlı Uzay Kızılötesi Teleskopu'nun (SIRTF) hayali görüntüsü.

1990'lar için planlanan bu teleskop (IRO) pek çok bakımdan öncülük yapacaktır. İlk olarak IRO görünür ışığa olduğu kadar kızılötesi ışınıma da duyarlı olacaktır. Her ne kadar yerkürenin atmosferi kızılötesi ışınımın bazı dalga boylarını soğurmaktaysa da bir bölümüne de geçirgendir. Yer yüzeyine ulaşan bu kızılötesi ışınım, IRO ile gözlenebilecektir. 1970'ten bu yana yapılan pek çok optik teleskop aynı zamanda kızılötesi ışınımı da algılayabilmektedir. Ancak IRO kızılötesine özel bir biçimde adapte edilecek ve bu ışınımla ilgili performansı da çok yüksek olacaktır. İkincisi, IRO şu anda çalışmakta olan teleskoplardan daha büyük olacaktır. Bu teleskopların ışık toplayıcı aynalarının çapı ortalama dört metre civarındadır. Aynanın çapı iki kat arttırıldığında ışık toplayıcı alan dört katına çıkacağından teleskop dört kat daha sönük cisimleri görebilir. 1991 yılında dünyadaki en büyük kızılötesi teleskop Rusya'nın, Kafkaslardaki Pastuknov dağında bulunan 6 metre çapındaki teleskopudur. İkinci büyük, Kaliforniya'nın Palomar dağındaki Hale teleskopu olup 1949 yılından beri çalışmaktadır. Ayna çapı 5 metredir. Kızılötesi teleskopun ayna çapı ise 8 metre olacaktır. Böylesine büyük bir ışık toplama gücüne sahip olacak IRO, gezegen oluşum disklerinden kaynaklanan zayıf ışığı toplayıp bileşen dalgaboylarına ayırarak diskteki değişik moleküllerin tanımlanmasını sağlayabilecektir.

Üçüncü olarak, tüm yeni kızılötesi araçlar gibi IRO'da da yeni geliştirilen kızılötesine duyarlı sistemler kullanılacaktır. Birkaç yıl öncesine kadar kızılötesi kameralar insan gözündeki çubuk veya konik hücrelere benzeyen yalnızca bir algılama elemanı içeriyordu. İki boyutlu bir sistem ise her biri önceki algılama elemanlarından on-yüz kat daha duyarlı elemanların on binlercesini kapsayan bir mozayiktir. Bu nedenle yeni iki boyutlu algılama sistemleri daha önceki algılama elemanlarından milyonlarca kez daha duyarlıdır.

Son olarak IRO çok yeni bir teknoloji kapsayan 'adapte olabilen optik'le donatılacaktır. Atmosferden kaynaklanan bozulmaları otomatik olarak düzeltme yeteneği olan bu optik elemanlarla gök cisimlerinin son derece temiz görüntülerini almak mümkün olacaktır. Hava kütlelerinin yer değiştirmeleri ve sıcaklıktaki değişmeler nedeniyle atmosfer sürekli olarak hareket halindedir. Bu hareketler geçen ışığın önce bir yöne, sonra başka bir yöne bükülmesine neden olduğundan net görüntüler lekeli ve bulanık bir

hale dönüşür. Adapte olabilen optikte hareketli atmosferin odaklanmayı dağıtıcı etkisi, teleskop aynasının arkasına yerleştirilen bir dizi motorlu destek aracılığıyla dengelenir. Destekler, aynanın yüzeyini bir bilgisayardan gelen komutlar doğrultusunda saniyenin yüzde biri kadar zaman aralıklarıyla yeniden biçimlendirirler. Bilgisayar da komutları bir ‘kılavuz yıldız’ın görüntülerini sürekli olarak inceleyerek alır. Eğer atmosfer son derece düzgün ve pürüzsüz ise yıldızın görüntüsü bir ışık noktası biçiminde olacaktır. Kılavuz yıldızın görüntüsünü analiz eden bilgisayar, atmosferin bozucu etkilerini hesaplar ve motorlu desteklere yıldızın görüntüsünü yeniden odaklayacak biçimde ayna yüzeyini yeniden biçimlendirme komutları gönderir. Eğer sürekli hareket halinde olan atmosferi, biçimini ve odak uzaklığını sürekli olarak değiştiren bir mercek olarak kabul edersek, adapte olabilen optik, teleskopun aynasını atmosfer merceğinin biçimi ile uyumlu olarak değiştirir.

Önümüzdeki on yılda astronomlar, adapte olabilen optiği IRO’ya olduğu gibi bir dizi büyük optik teleskopa da uygulayabileceklerini düşünüyorlar. IRO gibi bu yeni teleskoplar da 8-10.5 metrelik ayna çaplarıyla şu andaki teleskoplardan daha büyük olacaklar. Bu teleskoplardan ilki olan 10 metre ayna çaplı Keck teleskopu Hawaii’de inşa edildi ve 1992 yılında çalışmaya başladı. Bir Avrupa Konsorsiyumu Çok Büyük Teleskop adı verilen ve dört tane sekiz metre çapında teleskoptan oluşan bir kompleksi Şili’de çalıştırmaya başlayacak. Yeni inşa edilen sekiz metrelik ve on metrelik teleskoplar, görüntülerdeki 3×10^{-5} derece büyüklüğündeki ayrıntıları görebilecek. Bu sayı otuz kilometre uzaklıktan görülen madeni bir paranın açısal çapını ifade ediyor. Başarılı olduğu takdirde adapte olabilen optik uzay koşullarını çok daha düşük bir maliyetle astronominin hizmetine sunabilecek.

Açısal ve tayfsal çözüm gücünden defalarca söz ettik. Gerçekte astronomi araçlarının değerlendirildiği pek çok kriter var: Gelen ışığın ne oranda toplanabildiğini ve zayıf ışığa tepkiyi ölçen duyarlılık, görüntüdeki ayrıntıların ne kadar seçilebildiğini ölçen açısal ayırma gücü ve gelen ışığın hangi oranda bileşen dalgaboylarına ayrılabildiğini ölçen tayfsal ayırma gücü. Gözlemsel astronomlar için bu sınıflardaki araçların en kalitelileri gereklidir. Teorik astronomların gereksinme duyduğu araçlar ise bir bilgisayar, bir miktar kağıt ve kalem ile bir çöp kutusundan oluşur.

Dünya Dışı Yaşamın Araştırılması

Evrende yalnız mıyız? Bundan daha derin anlamı olan pek az soru vardır. Diğer yaşam biçimleriyle bir temas, evrendeki yaşamın farklı başlangıçları ve farklı dönemeçleri arasındaki milyarlarca yıllık boşluğu dolduracaktır. Dünya dışı bir temas evrendeki yerimize bakış açımızı sonsuza dek değiştirecektir.

Son derece sıradan bir yıldızın çevresinde dönen yine sıradan bir gezegen üzerinde yaşadığımızı anlayacak ölçüde evrim geçirmemiz için 4.5 milyar yıl geçmesi gerekti. Kızılötesi Astronomi Uydusu, olası başka gezegen sistemleri konusunda ipuçları buldu. Ve uzay, bildiğimiz kadarıyla yaşam için gerekli olan karbon temelli organik madde bakımından oldukça zengin. Radyo teleskoplar yardımıyla uzayda birbirinden farklı yüz kadar organik bileşik bulduk. Yeryüzüne düşen meteoritlerin getirdiği organik çamura dokunduk. Parçaların bazıları hâlâ düştükleri yerde duruyor. Dünya'da olmuş olan şeyler başka yerlerde de olabilirdi.

Yıllar boyu astronomlar nedense dünya dışı yaşamla haberleşmenin elektromanyetik dalgalarla, özellikle de radyo dalgalarıyla gerçekleşeceğini varsaymışlardır. Bizim kuşağımız bu tür bir haberleşmeyi gerçekleştirebilecek ilk kuşak. Dünya dışı kaynaklı ve zeki yaratıklarca yapılacağı varsayılan radyo yayınları için ilk araştırma, o yıllarda Batı Virginia'daki Ulusal Radyo Astronomi Gözlemevi'nde çalışan Frank Drake tarafından 1960 yılında gerçekleştirildi. Bu çalışma sırasında Drake anteninin 'kulaklarını' iki yakın yıldıza çevirerek iki ay boyunca dinledi. O zamandan bu yana, çoğu diğer amaçlarla kullanılan radyo teleskoplarının ucuz ve basit kopyaları olan araçlarla, elli kadar araştırma yapıldı. Geçtiğimiz yıllarda, son derece duyarlı araçlarla yalnızca uzaydan gelmeleri olası zeka ürünü sinyalleri dinlemeye yönelik sürekli bir araştırmanın temelleri atıldı. Aradığımız şey, uzayda tek bir yönden gelen dar dalgaboyu bantlı bir radyo yayını. Eğer böyle bir 'sinyal' bulunabilirse, bir takım kodlanmış mesajlar arayacak ve çözmeye çalışacağız. Bilgisayar teknolojisi yeni radyo alıcılarının geliştirilmesine önemli katkılar yaptı. İlk dünya dışı kaynaklı yayın taramaları yalnızca 1000 radyo kanalını kapsıyordu. Harvard Üniversitesi'nden Paul Horowitz tarafından tasarlanan bilgisayar kontrollü alıcı sistemleri ise 10 milyon kanalı aynı anda tarayabiliyor. Arkadaşlarımızın hangi kanaldan yayın yaptıklarını bilmediğimizden mümkün olduğunca çok kanalı aynı anda izlemek bir zorunluluk. 1990'ların sonunda alıcılardaki kanal sayısı *milyara,* ulaşabilir.

Ekim 1992’de NASA, Arecibo radyo teleskopu kullanılarak yapılan dünya dışı, zeka ürünü radyo yayınlarını izlemek üzere bir araştırma başlattı.

Yıldızların Yaşam Öyküleri

Güneş

Temel eseri olan *Principia*'da Newton şöyle yazıyor: 'Güneş'i sabit yıldızlardan biri olarak kabul edenler' herhangi bir yıldızın parlaklığını Güneş'in parlaklığı ile karşılaştırarak o yıldızın uzaklığını bulabilirler. Bu, uzaktaki bir mumun ışığıyla yanıbaşımızdaki bir mumun ışığını karşılaştırarak mumun uzaklığını tahmin etmeye benzer. O zamanlar Newton, en yakın yıldızlara olan uzaklığın Güneş'imizin uzaklığının yaklaşık bir milyon katı olması gerektiğini hesapladı ki sonraki ölçümler bunun doğruluğunu gösterdi.

Newton'un öne sürdüğü bu fikirde diğer yıldızların da tıpkı bizim Güneş'imiz gibi Güneşler olduğu düşüncesi gizlidir. Bu, kabaca doğrudur. Gerçekten bazı yıldızlar Güneş'e çok benzer ve onun özelliklerinin hemen tamamını paylaşır. Bu nedenle Güneş'i inceleyerek yıldızlar konusunda pek çok şey öğrenebiliriz.

Yeryüzündeki ısı ve ışığın kaynağı tarih boyunca insanlığın çok ilgisini çekmiştir. On dokuzuncu yüzyılda bilim adamları Güneş'in enerjisini, sanki gökyüzünde kömür yakan dev bir fırın gibi kimyasal tepkimeler sonucu sağladığını düşünüyorlardı. Sonradan, eğer bu enerjinin kaynağı kimyasal olsaydı, yakıtın ancak

1000 yıl yetebileceği ortaya çıktı. Daha iyi bir öneri olarak çekim enerjisi ortaya atıldı. Nasıl büyükbabalarımızın saatleri yavaş yavaş aşağıya doğru inen bir ağırlığın verdiği enerjiyle çalışıyorsa, Güneş de kütlesinin yavaş yavaş büzülmesi sonucu serbest kalan enerjiyi yayıyordu. Ama bu sürecin de ancak 100 milyon yıl ısı ve ışık üretebileceği bulundu. Bu rakam da Yerküre ve Güneş Sistemi'nin yaşı olarak kabul edilen 4.5 milyar yılın yanında çok küçük kalıyordu. Bu ikilemin farkına varan İngiliz astronom Arthur Eddington 1920'de Güneş ve diğer yıldızların enerjilerini nükleer

tepkimelerle ürettiğini öne sürdü. Güneş'in en sıcak ve en yoğun bölgesi olan merkezinde oluşacak nükleer tepkimeler milyarlarca yıl boyunca yetecek enerjiyi sağlayabilirdi.

Güneş, yarıçapı yaklaşık bir buçuk milyon kilometre olan büyük ve sıcak bir gaz topudur. Modern teoriye göre Güneş'in merkezindeki yoğunluk suyun yoğunluğunun yaklaşık yüz katı, sıcaklık ise yaklaşık 15 milyon derece civarındadır. Atom-altı parçacıkların bir araya gelip kaynaşarak nükleer enerjiyi açığa çıkarabilmeleri için bu tür yüksek sıcaklıklar gereklidir. Serbest kalan enerji başlıca iki şey yapar. Birincisi, Güneş'in içinde sıcaklığı yüksek tutarak dışarıdan içeriye doğru bir etki yapan kütle çekim kuvvetine direnmeye yetecek bir basınç yaratır (Böyle bir basınç olmazsa, Güneş kendi ağırlığı altında çöker). İkincisi, açığa çıkan enerji ışınıma dönüşerek önce Güneş'in yüzeyine doğru hareket eder, oradan da uzaya yayılır. Güneş'in enerjisinin bir bölümü yüzeyi hareketlendirip karıştırarak çok yüksek enerjili parçacıklar, manyetik alanlar ve taç(corona) adı verilen yüksek sıcaklığa sahip bir atmosfer yaratır.

Güneş tacı astronomları şaşırtıyor. Güneş tutulmaları sırasında Güneş'ten fışkıran uzantılardan oluşan parlak bir taç görünümüne bürünen taçküre, yüzyıllardan beri gözleniyor. Ama neden bu kadar sıcak? Enerjisini nereden alıyor? Güneş'in içindeki sıcaklık, merkezdeki 15 milyon dereceden yavaş yavaş yüzeyde 6000 dereceye kadar düşer. Güneş'in içindeki kütle çekim kuvveti ve iç basınç arasındaki denge, Güneş'in ışınım gücü ve boyutları düşünüldüğünde anlaşılabilir sıcaklıklardır. Ama Güneş maddesinin sıcaklığının yüzeyde 6000 dereceye kadar düştükten sonra yüzeyin hemen dışında yeniden büyük bir hızla ısınarak bir kaç milyon dereceye ulaşmasının ve uzaya yayılarak tacı oluşturmasının görünürde hiçbir nedeni bulunmuyor.

Güneş tacının enerji girdisi ile ilgili ilk ipuçları, uzaydan yapılan morötesi gözlemlerden geldi. Bu gözlemlerle her ne kadar Güneş'in yüzeyinde gerektiği kadar küçük bölgeler-belki seksen kilometre çapında-gözlenemediyse de uzay gözlemleri ile taçkürede çok büyük sayıda gaz fışkırmaları ve patlamalar saptandı. Astronomlar, güçlü manyetik alanların kopup yeniden birleşerek bir şekilde Güneş atmosferine enerji sağladığını düşünüyorlar. Ama ayrıntılar henüz çok açık değil. Örneğin, manyetik alanlar enerjilerini nereden alıyorlar? İlk kez 1851'de Alman eczacı ve

amatör astronom Heinrich Schwabe tarafından bulunan on bir yıllık Güneş etkinlik çevriminde manyetik alanların rolü nedir?

Taçküre, Güneş'in çoğu yüksek enerjili etkinliklerinde merkezî bir rol üstlenir. Yüksek sıcaklıktaki Güneş tacı, X-ışınları ve Güneş rüzgarı adı verilen yüksek enerjili parçacıklar yayar. Yerküre'nin yörüngesi yakınlarında Güneş rüzgarının hızı saniyede 500 kilometre civarındadır. Sıcak taçküre, sürekli bir biçimde Güneş rüzgarı yaymasının yanısıra ara sıra Güneş parlamaları adı verilen şiddetli enerji patlamaları gösterir. Güneş yüzeyinin ancak binde birini kaplayan Güneş parlaması, morötesi ve x-ışınlarında Güneş'in geri kalan bölümünün tamamından çok daha parlak olabilir. Bununla ilişkili bir olay da ilk kez 1600'lerde Galileo tarafından bulunan Güneş lekeleridir. Güneş lekelerinin büyüklüğü 1500 kilometreden 50000 kilometreye kadar değişir. Tek tek bakılacak olursa, Güneş lekelerinin ömürleri birkaç saatle birkaç ay arasındadır. Güneş lekelerinin toplam sayısı, taçküre ve Güneş rüzgarı arasında yakın bir ilişki vardır ve bunlar zamanla değişen olaylardır. Güneş lekelerinin sayısı az olduğunda taçküre Güneş ekvatorunda daha şişkin, kutuplarda ise çok basıktır. Leke sayısı arttığında ise taçküre çok daha simetrik bir görünüm alır.

Kimi bilim adamları Güneş etkinliğinin değişiminin Dünya'mızın iklimini etkilediğini düşünüyorlarsa da aradaki ilişki henüz tam anlaşılmış değil. Örneğin, tarihsel kayıtlar 1645- 1715 yılları arasında Güneş lekesi sayısı ve buna bağlı etkinliklerin normalin çok altında olduğunu gösteriyor. Bu olgu, 1890 yılında Alman astronom Gustav Sporer ve Ingiliz astronom Edward Maunder'in dikkatini çekmiş. 'Maunder minimum' adı verilen bu düşük Güneş etkinliği sırasında Avrupa'daki sıcaklıkların olağandışı düşük olduğu biliniyor. Eğer Güneş etkinliği gerçekten Dünya'nın iklimini etkiliyorsa, bu konuda öğreneceğimiz daha çok şey var demektir.

Son yirmi yılda X-ışın detektörleri ve diğer araçlar Güneş'le ilgili taçküre, kuvvetli manyetik alanlar, parlamalar ve yıldız rüzgarı gibi karmaşık olayların diğer yıldızlarda da bulunduğunu keşfetti. Bu, astronomlar için de sürpriz oldu.

Belki de taçkürelerin gizi 1990'larda çözülecek. Astronomlar, Yörüngedeki Güneş Laboratuarı (Orbiting Solar Laboratory, OSL) adı verilen ve tüm zamanını Güneş'i incelemekle geçirecek olan bir uydu önerisi yaptılar. Bu yeni astronomi laboratuarı bir optik teleskop, bir morötesi teleskop ve bir de X-ışın teleskopu taşıyacak. OSL'yi Kanarya

Adaları'na yerleştirilecek olan Yerden Gözlem Yapan Büyük Güneş Teleskopu (The Large Earth Based Solar Telescope, LEST) tamamlayacak. Güneş yüzeyindeki yapılanmaların ayrıntılı görüntülerini oluşturabilmek amacıyla açısal gücü çok yüksek olarak yapılacak LEST, Güneş'in manyetik alanını OSL'den daha büyük bir duyarlılıkla ölçebilecek. LEST'in görevleri arasında, Güneş'in içinde manyetik alanların enerji taşınmasını nasıl etkilediğini bulmak ve Güneş'in manyetik alanının üç boyutlu haritasını çıkartmak da var.

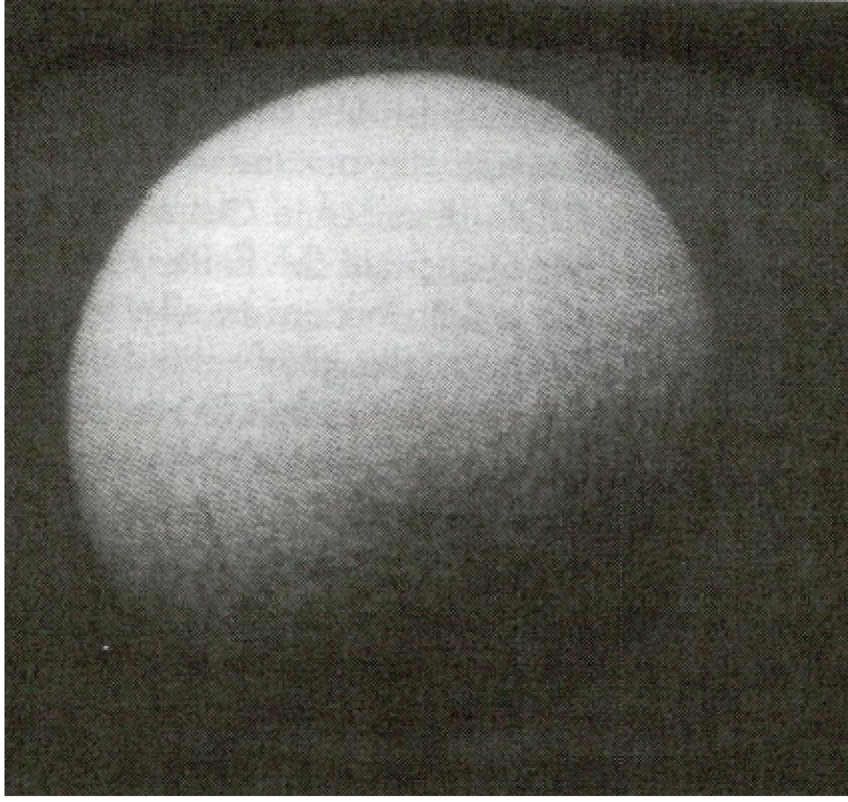
Elimizde Güneş'in iç bölgeleriyle ilgili çok az doğrudan bilgi var. Gördüğümüz tüm ışık Güneş'in yüzeyinden geliyor. Bununla birlikte yüzey, iç kısımlardaki koşullara ilişkin ipuçları veriyor. Bunların en önemlilerinden biri, gaz hareketlerini inceleyen ve yepyeni bir araştırma alanı olan Güneş sismolojisi. Güneş'in içinde oluşan titreşimler, aynen yeryüzündeki depremler gibi, yüzeye bilgi taşır. Nasıl depremlerin şiddeti ve sarsıntıların arasında yer alan zaman aralıkları Yerküre'nin derinliklerindeki koşullar konusunda bilgi verirse, Güneş'in yüzeyinde oluşan gaz titreşimleri de derinliklerindeki yoğunluk, sıcaklık ve dönüş hızı gibi konularda bilgi taşır. Örneğin Güneş titreşimlerinin son zamanlarda yapılan bir analizi, teorik beklentilerin tersine Güneş'in iç katmanlarının yüzey katmanlarıyla aynı hızda döndüğünü ortaya çıkararak Güneş araştırmaları yapan astronomları şaşırttı. Bununla birlikte Güneş sismolojisinin çoğu sonuçları teorik öngörüleri doğruluyor. Bilim adamları kendi teorilerinin deneyler aracılığıyla doğrulanmasından mutlu olurlar. Ama aynı bilim adamları teorileriyle deney arasında bir çelişki yakaladıklarında da genelde mutlu olur ve heyecanlanırlar.

Güneş sismologları, Güneş'in yüzeyindeki hareketleri birinci bölümde anlatılan Doppler kayması yöntemini kullanarak izlerler. Güneş yüzeyi titreşirken önce Yerküre'ye doğru, sonra ters yönde, sonra yine Yerküre'ye doğru hareket eder. Sürüp giden bu hareketlerin izleri çok duyarlı bir biçimde Güneş'ten yayılan ışığın dalga-boyu değişimlerinin içinde yer alır. Güneş yüzeyinde yer alan bazı titreşimler her beş dakikada bir kendilerini tekrarlarlar. Güneş'in iç yapısının doğru bir görüntüsünü elde etmek için bu titreşimleri yıllar boyu bir dakikalık aralıklarla gözlemek ve ölçmek gerekir. Böylesi uzun dönemli çalışmalar Dünya'nın çeşitli yerlerinde konumlanmış birçok gözlemevi gerektirir. Böylece Güneş'in her zaman en az bir gözlemevinin görüş açısı içinde kalması sağlanır. Astronomlar şu anda dünyanın çeşitli yerlerinde en az on gözlemevinden oluşan ve Küresel

Salınım Ağ Grubu (Global Oscillation Network Group, GONG) adı verilen bir gözlemevleri ağı inşa etmekteler. Güneş sismolojisi tekniklerini kullanacak olan GONG, Güneş yüzeyinde 65000 noktada aynı anda yüzey salınımlarını ölçebilecek.

Güneş'in iç yapısının daha iyi öğrenilmesi, astronomları yıllardır uğraştıran bir başka probleme de çözüm getirebilir. Güneş'in yaydığı nötrino adı verilen atom altı parçacıkların ölçülen sayısı öngörülen sayının çok altındadır. Nötrinolar elektriksel olarak yüksüz(nötr) olup diğer parçacıklarla çok zayıf bir biçimde etkileşir. Fizikçiler yıllarca nötrinoların kütlesiz, elektromanyetik ışınım gibi saf enerji olduğunu düşündüler. Bununla birlikte kütlesi de dahil olmak üzere nötrinonun özellikleri deneysel olarak pek iyi saptanamadı.

Teorik olarak nötrinolar Güneş'in merkezinde sürüp giden nükleer tepkimeler sırasında üretiliyor olmalılar. Nötrinoların üretim hızı, İleri Araştırmalar Enstitüsü'nden John Bahcall tarafından çekirdek fiziğinin en iyi teorileri ve Güneş'in içindeki sıcaklık ve yoğunluk koşulları konusundaki bilgiler kullanılarak çok dikkatli bir biçimde hesaplandı. Nötrinolar çevredeki maddeyle çok zayıf bir biçimde etkileştiklerinden Güneş'in merkezinde üretilen hemen hemen her nötrino Güneş yüzeyinden uzaya kaçıyor olmalı. Bu nedenle de teoriyi gözlemlerle karşılaştırmak muhtemelen son derece basit olacaktır.



Şekil 6. *Güneş'in sismolojik görüntüsü. Farklı tonlar, bakış doğrultumuz boyunca Güneş'in yüzey tabakalarının farklı hızlarını gösteriyor. Güneş merkezinin hızı yaklaşık olarak sıfırdır. Güneş merkezininkinden daha açık tonlar, bize doğru hareket eden bölgeleri, daha koyu tonlar ise bizden uzağa doğru hareket eden bölgeleri gösteriyor. Kırçıllı görüntüden, Güneş'in yüzeyi titreşirken birbirine yakın noktaların farklı hızlara sahip olduğu anlaşılıyor.*

Pennsylvania Üniversitesi'nde yirmi yıldır süren bir deney sonucunda Güneş'ten yayılan nötrinoları sayan Raymond Davis ve arkadaşları, sayılan nötrinoların öngörülen sayının yalnızca üçte biri olduğunu buldular. Bu fark son yıllarda Japonya'da yapılan bir deneyle de doğrulandı. Dolayısıyla da ciddi bir problem oluşturuyor. Ya Güneş'in içindeki koşullar bizim düşündüğümüzden farklı, ya da nötrino üretildikten sonra yapısını değiştirebilen ve böylece yakalanıp sayılmaktan kurtulabilen bir özelliğe sahip. Birinci açıklama, eğer doğruysa, yıldızların yapısı konusundaki tüm teorilerimizi değiştirebilir. İkinci açıklama ise atom altı parçacıklara bakışımızı yenilememizi gerektirebilir.

1990'lar için planlanan ve Güneş nötrinolarını izlemeyi amaçlayan bir dizi yeni deney gündemde: Rus-Amerikalı bilim adamları arasında Rus-Amerikan Galyum Deneyi adı verilen bir işbirliği, eski Sovyetler Birliği'nin Baksan Laboratuvarı'nda yürütülecek. İtalya'nın Gran Sasso Laboratuarı ve Sudbury Nötrino Gözlemevi'nde ise Amerika Birleşik Devletleri, Kanada

ve İngiltere işbirliği var. Bu yeni deneylerin eskilerden farkı Güneş'in her yerinde üretilmiş olabilecek her düzeyde nötrino enerjisine duyarlı olmaları. Bunun ötesinde Sudbury Nötrino Gözlemevi'nde nötrinonun her biçimi saptanabilecek. Nötrinolar biçim değiştirse bile bu yeni nesil sayaçlara yakalanmaktan kurtulamayacaklar.

Yıldızların Oluşumu

Bir yıldızın oluşumu için iki şey gereklidir: Madde ve maddeyi yüksek yoğunluklara erişinceye dek sıkıştıracak bir mekanizma. Madde, uzayda oldukça boldur. Uzaydaki madde, hemen hemen tümüyle çok küçük miktarlarda diğer elementler ve küçük toz parçacıklarıyla karışmış durumda bulunan hidrojen gazından oluşmaktadır. Bazı bölgelerde gaz düzgün bir biçimde dağılmış durumda bulunurken diğer bazı bölgelerde yoğunlaşmalar gösterir. Maddenin toplandığı yerde kütle çekimi de daha kuvvetlidir, bu nedenle de gaz kendi kendini daha da sıkıştırarak yüksek yoğunluklara ulaşabilir. Sonuçta kütle çekim kuvveti tek başına gazı yoğunlaştırmanın bir mekanizması olabilir. Yoğun, yeni doğmuş bir yıldız çekirdeğinin çapı bir ışık yılının yarısından daha küçüktür. Ama bu boyut bile tam oluşmuş bir yıldızın boyutlarından milyonlarca kat daha büyüktür. Kütle çekimi ile birleşen başka birçok kuvvet, bu ilkel yıldız çekirdeğinin davranışını belirler. Tipik olarak gaz bulutu kendi çevresinde dönmekte olup manyetik kuvvetler tarafından gittikçe daha fazla sıkıştırılır. Bu faktörlerin etkileşiminden doğan etkiler henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Bulutun içinde büzülme ve çökmeye karşı koyan ısı ve basınç vardır. İçeriye doğru etki eden kütle çekim kuvveti yeterince büyük olduğunda bulut büzülmeye ve kendi merkezine doğru çökmeye devam eder. Bu da açığa çıkan çekim enerjisi nedeniyle ısı üretimine neden olur (Açığa çıkan ısı kızılötesi ışınım biçimine dönüşür). Büzülen gaz bulutunun yoğunluğu ve sıcaklığı artar. Dönen bir bulutta merkez etrafında Güneş sistemi boyutlarında bir gaz ve toz diski oluşabilir. Sonuçta kaçınılmaz olarak merkezdeki sıcaklık 10 milyon dereceyi bulur. Bu sıcaklıkta nükleer tepkimeler başlar ve bulut bir yıldıza dönüşür.

Yıldızların kütleleri Güneş kütlesinin onda biri kadar küçük olabileceği gibi yüz katı kadar büyük de olabilir. Daha küçük kütleler hiçbir zaman sıcaklıklarını nükleer tepkimeleri başlatacak ölçüde yükseltemezler, daha büyük kütleler ise kendi ışınımlarının dışa doğru etkiyen basıncı ile

dağılırlar. Bir yıldızın yukarıda anlatıldığı gibi doğumu için gereken süre yıldızın kütlesi ile değişir. Teoriye göre Güneş'imizin doğumu için 10 milyon yıl gerekmiş olmalı. Güneş kütlesinin onda birine sahip bir yıldızın doğum süreci 100 milyon yıl, yüz katına sahip bir yıldızınki ise yalnızca 10000 yıl sürer.

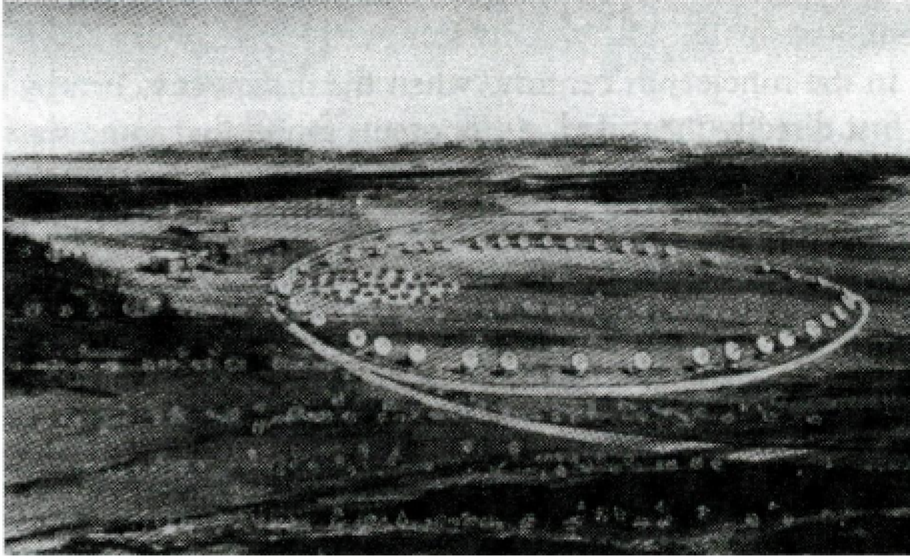
1980'lerde Kızılötesi Astronomi Uydusu (Infrared Astronomy Satellite, IRAS) oluşum sürecinde on binlerce yıldız bulduğunda bu teori de bir anlamda desteklenmiş oldu. IRAS, kendilerini çevreleyen gaz içine gömülmüş durumda, büzülmelerinin ilk aşamalarında olan ve nükleer tepkimelerin henüz başlamadığı yıldız çekirdekleri buldu. Yıldız oluşum teorimiz bir başka desteğini de 1980'lerde radyo teleskoplar beklenmedik bir keşif yaptığında buldu: Oluşum halindeki bir yıldız civarında ters yönlere doğru fışkıran iki gaz sütunu. Teoriciler bu gaz sütunlarının genç bir yıldız çevresinde bulunması olası bir gezegen-oluşturan diskten kaynaklanmakta olabileceğini ileri sürdüler. Bununla birlikte 'jet' adı verilen bu gaz sütunlarının kaynağı ve rolü hâlâ tam olarak anlaşılmış değil.

Yıldız oluşturan bulutları bu kadar uzun süre daha fazla büzülmeden tutan şey nedir? Yeni bir yıldızın kütlesini ve her boyuttaki yıldızların sayısını ne belirler? Genç yıldızların çevresinde çoğu zaman bulunan gaz disklerinin rolü nedir? Yıldız oluşurken içeri ve dışarı doğru akan gaz nasıl bir işlev görür? Tüm bu soruların yanıtını bulabilmek için ayrıntılı teorik hesaplamaların sürdürülmesi ve yeni astronomi araçlarının geliştirilmesi gerekir. Bu yeni araçlar $3x10^{-5}$ dereceden daha yakın gaz kümelenmeleri ve iplikçikleri ayırt edebilmeli ve saniyede 0.15 kilometrelik gaz hızlarını ölçebilmek için yüzde $5xl0^{-5}$ kadar küçük dalgaboyu kaymalarına duyarlı olmalıdır.

Yıldız oluşumu, görülür ışığın giremediği yoğun gaz bulutları içinde sürüp gittiğinden ipuçları radyo dalgaları ve kızılötesi ışınımda aranmalıdır. 1990'lar için planlanan ve tüm bu gereklilikleri karşılayan uzay araçları şunlardır:Uzay Kızılötesi Teleskopu (Space Infrared Telescope Facility, SIRTF), Kızılötesi Astronomi İçin Stratosfer Gözlemevi (Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy, SOFIA), Ayarlanmış Kızılötesi Teleskopu (the Infrared Optimized Telescope-IRO), Milimetrik Dizge(Millimeter Array,MMO), Milimetre Altı Dalgaboyu Teleskop Dizgesi (Submillimeter Wavelength Telescope Array ve Batı Virginia'daki Green Bank'ta yer alan Green Bank Teleskobu(GBT). Bu teleskoplardan

her birinin konunun araştırılmasına kendine özgü ve önemli katkıları olacaktır. SIRTF Dünya’mızın atmosferine giremeyen dalga boylarını gözleyecektir. SOFLA gezegen oluşturan disklerdeki koşulların habercisi olan bazı atom ve moleküllerin yaydığı ışınımı inceleyecektir. MMA ve IRO ise gezegen oluşturan diskler ve bu disklerden fışkıran gaz akımlarını incelemek amacıyla yüksek ayırma güçlü çalışmalar yapacaklardır.

Örneğin MMO her biri aşağı yukarı sekiz metre çapında kırk farklı radyo teleskop çanağından oluşmaktadır. Bu teleskoplar elektronik olarak birbirine bağlı olacak ve böylece tek bir dev teleskop gibi davranabileceklerdir. Birbirinden 2xl0^{-5} derece açısal uzaklıktaki iki cismi ayırt edebilcek olan MMA, adını duyarlı olduğu radyo dalgalarının dalga boylarından (1 milimetreden 10 milimetreye kadar) almaktadır.



Şekil 7. *Radyo dalgalarına duyarlı olacak olan, öneri halindeki Milimetre Dalgaboyu Gözlemcisi’nin (MMA) hayali görüntüsü.*

Bu dalgaboyu aralığında MMA’nın açısal çözümleme gücü, Dünya’daki tüm teleskoplardan daha iyi olacaktır. Daha kısa dalgaboylu radyo dalgalarına duyarlı olacak Milimetre Altı Dalgaboyu Teleskop Dizgesi ise her biri altı metre çapında en az altılı bir anten grubundan oluşacaktır.

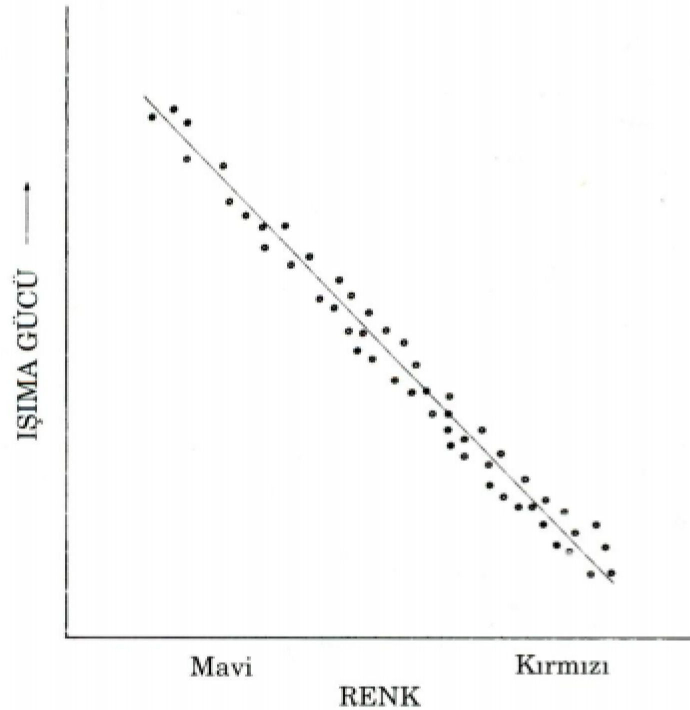
Yıldızların Yaşamı ve Ölümü

Yüzyıllar boyu, özellikle yeryüzündeki yaşam süreleriyle karşılaştırıldığında, yıldızlar kalıcılığı simgelemişlerdir. Shelley’in *Adonais* (1821) adlı şiirinde şu dizelere rastlarız: “Her şey değişir ve geçer, yalnızca Bir şey kalır;/Gökyüzünün ışıkları sürekli parlar, yeryüzünün gölgeleri

uçar.” Ve *Christabel*'de (1800), Coleridge şöyle yazar: “Ve gerçek kalıcılık gökyüzünde yaşar;/ Yaşam sıkıcı, gençlik anlamsızdır.”

Ama çağdaş astronomlar hiçbir şeyin gerçek anlamda kalıcı olmadığını fark ettiler.

On dokuzuncu yüzyılda yakın yıldızların uzaklıkları ilk kez doğrudan ölçüldüğünde, astronomlar bazı yıldızların *aynı uzaklıktaki* diğerlerinden daha parlak göründüğünü buldular. Ve böylece bütün yıldızların aynı olmadığı sonucuna vardılar. Yıldızlar, tıpkı elektrik ampulleri gibi çeşitli ışıma güçlerinde olabiliyorlardı. Renkleri de birbirlerinden farklıydı. 1911-1913 yıllarında birbirlerinden habersiz olarak Danimarkalı astronom Ejnar Hertzsprung ve Amerikalı astronom Henry Noris Russel yıldızlar hakkında basit ama çok önemli bir gerçeği keşfettiler. Hertzsprung ve Russel yakın yıldızları, renkleri bir eksende, ışıma güçleri diğer eksende olmak üzere bir diyagrama yerleştirdiklerinde yıldızlardan çoğunun diyagonal bir bant boyunca yer aldıklarını gördüler. Başka bir deyişle, yıldızların renkleri ve ışıma güçleri arasında kesin bir ilişki vardı: Işıma gücü daha yüksek yıldızların renkleri de daha mavimsiydi.



Şekil 8. *‘Ana kol’ yıldızlarının dağılımı. Her küçük çember, gözlenen bir yıldızı temsil ediyor. Yatay eksen, yıldızın gözlenen rengi; düşey eksen ise yıldızın gözlenen ışıma gücünü gösteriyor. Köşegen doğrultusunda uzanan ve oldukça dar olan kuşağa ana kol adı veriliyor.*

Eğer böyle bir ilişki olmasaydı-eğer belli bir renkteki yıldızların ışıma güçleri birbirlerinden çok farklı olabilseydi- o zaman Hertzsprung-Russel diyagramına yerleştirilen yıldızların diyagramın her yerine dağılmış olmaları gerekirdi. Yıldızların çoğunluğunun üzerinde yer aldığı bu diyagonal bant ‘Ana Kol’ olarak bilinir. Ana kolun alt ucunda yer alan yıldızlar kırmızı renkli ve sönük, üst ucunda yer alan yıldızlar ise mavi renkli ve çok parlaktır. Bir yıldızın ana koldaki yerini belirleyen en önemli faktör, o yıldızın kütlesidir. Büyük kütleli yıldızlar daha mavimsi ve yüksek ışıma gücüne sahip, küçük kütleli yıldızlar ise daha kırmızımsı ve sönüktürler.

Renk, sıcaklıkla doğrudan ilişkili olduğu için önemlidir. Tüm sıcak cisimler, yıldızlar da dahil olmak üzere, elektromanyetik ışınım yayarlar ve bu ışınımın rengi cismin sıcaklığı tarafından belirlenir. Örneğin, 7000 C derece sıcaklık mor ışık, 3500 C sıcaklık kırmızı ışık üretir (7000 dereceden daha yüksek sıcaklıklar mor-ötesi ışınım, X-ışınları ve gamma ışınları; 3500 dereceden daha düşük sıcaklıklar ise kızılötesi ışınım ve radyo dalgaları üretirler). Bir yıldızın rengini saptadığınızda onun yüzey sıcaklığını saptamış olursunuz. Dolayısıyla Hertzsprung ve Russel’in keşfettikleri şey aslında bir yıldızın ışıma gücü ve yüzey sıcaklığı arasındaki ilişkidir.

Hertzsprung ve Russel bir şey daha buldular. Yıldızların küçük bir oranı kendine özgüydü; bunlar ana kol yıldızları denen çoğunluğukta gözlenen renk-ışıma gücü ilişkisini göstermiyorlardı. Bu ‘uygunsuzlar'ın bir bölümünün ışıma güçleri kendi renklerine göre çok fazla, bir bölümünün ışıma güçleri de yine kendi renklerine göre çok azdı. Bazı başka ip uçlarına ve teorik öngörülere dayanarak bugün bunların evrimlerinin ileri aşamalarındaki yıldızlar olduğuna inanıyoruz. Gerçekten yıldızlar doğar, yaşlanır ve sonunda ya gözden yitip gider ya da patlarlar. Yıldızlar ne Newton’un ‘sabit’ cisimleri, ne de Shelley ve Coleridge’in sonsuz ışıklarıdır. Hatta Shakespeare’in ‘değişmez’ kuzey yıldızı bile bir gün yok olacaktır.

Bir yıldız oluştuğu andan itibaren etkin yaşam süresinin çoğunu ana kol yıldızı olarak geçirir. Bu evrede yıldız, ilkel yakıtı olan hidrojeni yakar. Dört hidrojen çekirdeğini kaynaştırarak bir helyum çekirdeğine dönüştürür ve bu süreç sonunda nükleer enerji açığa çıkar. Daha sonra, yıldız hidrojeninin kabaca % 10’nunu tükettiğinde yıldızın merkez bölgeleri büzülürken dış bölgeleri genişler. Bu arada yıldız parlamayı sürdürür.

Parlamanın kaynağı ise merkez bölgesi büzülürken salıverilen çekim enerjisidir. Yıldızın yüzeyi ise genişlerken soğur ve yıldızın aynı parlaklıktaki bir ana kol yıldızına oranla çok daha kırmızımsı görünmesine neden olur. Böyle olağandışı kırmızı ve büyük yıldızlara kırmızı dev yıldızlar adı verilir ki Hertzsprung-Russel diyagramına uyumsuzluk gösteren yıldızların bir bölümü bunlardır. Eninde sonunda yeterince büyük kütleli kırmızı dev yıldızların merkezlerindeki sıcaklık, yeni bir nükleer yakıtı ateşleyebilecek ölçüde yükselir. Bu yeni yakıt, hidrojenden sonra ikinci hafif atom olan helyumdur. Üç helyum çekirdeği kaynaşarak karbona dönüşür. Sonunda, bir dizi nükleer tepkime sonucunda, gittikçe ağır çekirdeklerin kaynaşması sonucu yıldızın merkezi demire dönüşür. Demir, elementlerin en kısırıdır. Ne başka atom çekirdekleriyle kaynaşarak ne de daha hafif çekirdeklere bölünerek enerji üretemez. Bir yıldızın merkezi demire dönüştüğünde, yıldızın kendi kütle çekimini dengeleyecek sıcaklık ve basınç kaynağı kalmadığında, yıldız çökmek zorundadır.

Güneş’imiz bir ana kol yıldızı olarak yaklaşık 5 milyar yıl yaşadı, kırmızı dev bir yıldıza dönüşüp büyümeye başlamadan önce hidrojenini sakin bir biçimde yakarak 5 milyar yıl daha yaşayacak. Sonra, 100 milyon gibi kısa sayılabilecek bir zaman aralığı içerisinde nükleer yakıtının geri kalanını tüketerek çökecektir. Büyük kütleli yıldızlar nükleer yakıtlarını daha hızlı, küçük kütleli yıldızlar ise daha yavaş harcarlar. Örneğin, Güneş’imizden on kat daha büyük bir kütleye sahip olan bir yıldız, merkezindeki hidrojeni yalnızca 30 milyon yılda tüketerek bir kırmızı deve dönüşür. Genel olarak büyük kütleli yıldızlar her şeyi küçük kütlelilerden daha hızlı yaparlar.

Yıldız evrimi ile ilgili teorilerimizi nasıl sınayabiliriz? Tek bir yıldızdaki değişiklikleri gözleyebilecek kadar uzun zaman bekleyemeyeceğimiz çok açık. Bu, milyonlarca veya milyarlarca yıl gerektirir. Bunun yerine evrimlerinin değişik aşamalarındaki birçok yıldızı gözleyebilir ve buradan tek bir yıldızın yaşam öyküsünü çıkarabiliriz. Botanikçiler benzer bir yöntemle Kaliforniya kızılağaçlarının yaşam çevrimini açıklığa kavuşturmuşlardır. Kızılağaçlar bir botanikçiden çok daha uzun, yüzyıllarca yaşarlar. Ancak kimi tohumunu çatlatan, kimi ilk yapraklarını veren, kimi ise olgunluk ve yaşlılık çağlarındaki kızılağaçları aynı zamanda gözleyerek tek bir kızılağacın yaşam tarihini çıkarabiliriz. Yeni yıldızlar sürekli bir biçimde doğduklarından -galaksimizde ortalama olarak yılda yaklaşık on yıldız- bir grup yıldızı inceleyen astronomlar evrimlerinin hemen her aşamasındaki yıldızlarla karşılaşırlar. Hubble Uzay Teleskopu, galaksimizin

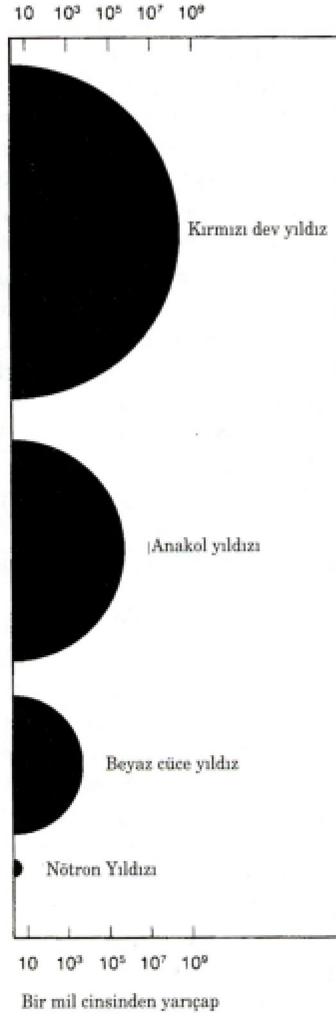
çok ötesinde, milyonlarca ışık yılı uzaklıktaki yıldızları inceleyebiliyor. SIRTF da benzer ölçümlerle yeni doğmuş yıldızların sahip olabildiği değişik ışıma güçlerini inceleyebilecek.

Yanıp-tükenmiş bir yıldız yaşamını çeşitli şekillerde noktalayabilir. Yoğun, sönük bir yıldız türü olan beyaz cüceye veya çok daha yoğun, soğuk bir tür olan nötron yıldızına dönüşebilir. Bir beyaz cüce, aynı kütleye sahip bir ana kol yıldızından 100-1000 kez daha küçüktür. Bir nötron yıldızı ise normal bir yıldızdan 100000 kez daha küçük olup hemen hemen yalnızca nötronlardan oluşmuştur. Nötronlar atom-altı parçacıklar olup protonlarla birlikte atom çekirdeklerini oluştururlar. Tipik bir atomda proton ve nötronlar, atomun ağırlıkça yüzde 99.9'unu oluşturduğu halde hacminin yalnızca 0.0000000000001'ini kaplayan ve çekirdek adı verilen çok yoğun merkez bölgesinde bulunurlar. Atom hacminin çok büyük bir bölümü çekirdeğin çevresinde göreceli olarak büyük uzaklıklarda dönen ve kütleleri proton ve nötronlara göre çok küçük olan elektronlarca doldurulur. Bununla birlikte, nötron yıldızlarında nötronlar katı ve çok sıkıştırılmış bir biçimde yan yana bulunurlar. Güneş'in atomlarındaki tüm elektronları koparıp çekirdekleri yan yana getirdiğinizi düşünün. Bir nötron yıldızı elde edersiniz. Nötron yıldızlarının yoğunlukları hayal bile edilemeyecek kadar yüksektir: Güneş'in kütlesi yaklaşık on kilometre çapında bir kürenin içine sıkıştırılmış durumdadır. Bunun ötesinde bu küre saniyede 1 ile 1000 devir arasında çok yüksek hızlarla dönmektedir. Manyetik alanı Dünya'mızınkinden trilyonlarca kat kuvvetli olan nötron yıldızları, periyodik atma(puls) biçiminde yoğun radyo dalgaları yayarlar. Beyaz cüceler ve nötron yıldızları, yapılarındaki sıkıştırılmış atom altı parçacıkların dirençleri nedeniyle daha fazla çökemez, büzülemezler. Sonsuza kadar bu dengeli durumlarını koruyabilirler. Ama bir zamanların parlayan yıldızları olan bu yoğun kürelerin dönme enerjisi dışındaki enerji kaynakları tükenmiştir. Dolayısıyla, eninde sonunda sönükleşip soğumaya mâhkumdurlar.

Beyaz cüceler 1913 yılında Hertzsprung tarafından tanımlanmıştır. 1924 yılında İngiliz astronom Arthur Eddington ilk kez Güneş'e yakın bir yıldız olan Sirius'un beyaz cüce bir yıldız olan yoldaşının boyutlarını hesapladı. İlk nötron yıldızı 1967 yılında Cambridge Üniversitesi'nden Jocelyn Bell ve Anthony Hewish tarafından bulundu. Astrofizikçilerin bu ilginç cisimlerin karakteristik özelliklerini onların keşfinden önce öngörmeleri garip gelebilir. Kaliforniya'da birlikte çalışan İsviçre uyruklu astronom Fritz

Zwicky ve Alman uyruklu astronom Walter Baade, nötronun bir laboratuarda ilk kez keşfinden yalnızca iki yıl sonra, 1934'de nötron yıldızlarının varlığını ve özelliklerini önceden belirlemişlerdi. Böylesi kesin kehanetler, yeryüzünde keşfedilen fizik yasalarının evrenin uzak bölgelerinde de uygulanabilir olduğu varsayımının geçerliliğini sınamaktadır.

Bu öngörüler aynı zamanda astronomideki teorik hesaplamaların gücünü de sınıyor. Burada bir an durup konu dışına çıkarak astronomide teori ve gözlemin rollerine göz atmakta yarar var.



Şekil 9. *Değişik tür yıldızların yaklaşık yarıçapları. Nötron yıldızlarından (çapları yaklaşık 10 km) kırmızı dev yıldızlara kadar (çapları yaklaşık 300 milyon km) çok büyük aralığı kapsayabilmek açısından, yatay eksendeki her birim, sağa doğru gidildikçe 100 sayısıyla çarpılmaktadır.*(Not: 1 mil yaklaşık 1.5 km olarak alınmıştır.)

Her bilim dalında teori ve deney birlikte, yan yana yer alır. Teori, kavramları tanımlar ve geliştirir, yeni deney ve gözlemlerin sonuçlarını

önceden görmeye çalışır, deney sonuçlarını yorumlar. Akıl ve zekamızın dışında dış dünyada neyin gerçek olduğunu bize söyleyen, deney ve gözlemdir. Astronomi, diğer bilimlerden bir anlamda farklıdır. Astronomide incelenen cisimler genellikle ışık yılları boyu uzakta ve kontrol dışındadır. Bir nötron yıldızının manyetik alanını ‘kapatıp’ nasıl davrandığını inceleyemeyiz; bir galaksinin belirli bir yöne dönmesini sağlayamayız, hatta ona değişik açılardan bakamayız bile. Astronomide, yalnızca gözleyebiliriz. Astronomide veri toplayan insanlara ‘deneyci’ değil ‘gözlemci’ denir. Astronomide gözlediğimiz cismi kontrol edemediğimizden ve onu parça parça incelemek üzere parçalarını izole edemediğimizden astronomik sistemleri olduğu gibi, tüm karmaşıklıklarıyla kabul etmemiz gerekir.

Pek çok fiziksel olay, etki ve ilkeler genelde birbiri içine girmiş durumda olup kolay kolay ayrılamaz. Örneğin bir nötron yıldızının çevresindeki gazın yaydığı belirli bir ışınım şiddeti, teorinin öngördüğü gibi manyetik alanın gazı etkilemesi sonucu ortaya çıkmış olabileceği gibi, şık evrensel çekim teorimizle hiçbir ilgisi olmayacak bir biçimde basit bir gaz kümelenmesinden de kaynaklanıyor olabilir. Gazı kontrol etmek ya da daha yakından bir göz atmak mümkün olmadığından bu iki olasılık veya bir düzine başka olasılık arasından seçim yapabilme olanağından yoksunuz. Dolayısıyla astronomide teori ve gözlem arasında net bir karşılaştırma, diğer bilim dallarında olduğundan daha zordur. Astronomide belirli bir teorinin kesinlikle yanlış veya kesinlikle doğru olduğunu söylemek çok zordur. Bu durum bazı teoricilerin kendilerini çok rahat hissetmelerine yol açıyor. Bazılarında ise hayal kırıklığı yaratıyor. Bununla birlikte astronomide bile teori ve gözlem oldukça uyumlu bir birliktelik sergilemektedir. Hertzsprung ve Russel’in gözlemleri, daha sonra yıldız yapısı teorilerine giren çok önemli bilgiler sağlamıştır. Zwicky ve diğerlerinin teorik öngörüleri, saniyede bir kez dönüyor gibi görünen bir gök cismi bulan Bell ve Hewish’in ilginç ve meraklı gözlemlerinin yorumlanabilmesini sağlamıştır. Varsayılan bir nötron yıldızının çok küçük boyutlarına sahip olmadığı sürece hiçbir cisim hem o kadar hızlı dönüp hem de dağılmadan, tek parça halinde kalamaz. Astronomide teori ve gözlem arasındaki başarılı işbirliğinin diğer örneklerini yeri geldikçe göreceğiz.

Beyaz cücelere ve nötron yıldızlarına ilişkin çok sayıda çözülmemiş bilmece var. Bu yoğun ve sıkı yıldızların başlangıçtaki dönüş hızlarını saptayan nedir? Nötron yıldızlarının merkezindeki süper yoğun maddenin doğası nedir? Bir nötron yıldızının manyetik alanı, yıldızın dönme hızıyla

etkileşerek elektronları yüksek hızlara kadar ivmelendirir ve radyo dalgaları yayılmasına neden olur. Ama bu radyo dalgaları yayını 1-10 milyon yıl arasında yok olur. Neden? Yeni radyo teleskoplar bu sorulara yanıt bulmak için uğraşacaklar.



Sallie Baliunas 23 Şubat 1953'de New York'da doğdu. Villanova Üniversitesi'nde fizik ve astronomi eğitimi gördükten sonra 1980 yılında Harvard'dan Ph. D. derecesini aldı. O tarihten beri Cambridge, Massachusetts'deki Harvard-Smithsonian Astrofizik Merkezi'nde çalışmaktadır. Baliunas'ın çalışmaları, Güneş'in on bir yıllık leke çevrimi ve bunun diğer yıldızlardaki biçimleri de aralarında olmak üzere, Güneş ve diğer yakın yıldızların manyetik özellikleri konularında yoğunlaşmıştır. Baliunas, çalışma arkadaşları ile birlikte, bir bilgisayar tarafından yönlendirilen ve yıldızların otomatik gözlemlerini yapabilen bir robot-teleskop geliştirmiştir.

Baliunas şöyle diyor: 'Çocukluğumdan kalan anılarım arasında en büyük yeri Sputnik ve uzay-giysili insanları bir roket içinde Satürn'e doğru yol alırken gösteren duvar kağıtları tutuyor. Yıldızlara ulaşmanın insanlığın en temel tutkularından biri olduğuna inanıyorum. Yeni teleskoplar, bilgisayarlar ve elektronik detektörler sayesinde yıldız astronomisinde bir çok alan öne çıkıyor. Güneş'te ve çoğu yıldızlarda manyetik alanların değişmesine neden olan mekanizma tam anlamıyla bilinmiyor. Güneş'in manyetik alanındaki değişmeleri anlamak, bunun çevremizdeki etkilerini tahmin edebilmek için gereklidir. Güneş sismolojisi ve GONG projesi sayesinde yakında Güneş'in iç yapısının şimdiye kadar elde edilen en ayrıntılı görüntüsüne sahip olacağız. Güneş'teki yüzey altı hareketlerine ilişkin bilgi, hem manyetik alanların nasıl üretildiğinin anlaşılması, hem de Güneş modellerimizin geçerliliğinin sınanması açısından önemlidir. Bu konuların her ikisi de Güneş'ten gözlediğimiz nötrino sayısının azlığının açıklanmasına yardımcı olabilir.

Son olarak, interferometre (girişimölçer) ve spektrograf (tayfölçer) gibi yeni araçlar yardımıyla, başka yıldızların çevresinde gezegen sistemleri olup olmadığına ilişkin kanıtlar aranmaya başlamıştır.

Beyaz cüceler ve nötron yıldızları nasıl oluştu? Astronomlar, kütleleri Güneş kütlesinin sekiz katından küçük olan tüm yıldızların nükleer yakıtlarını tükettikten sonra çökerek beyaz cüce oluşturacaklarına inanıyorlar. Nükleer yakıtını bitirmiş olan daha büyük kütleli yıldızları ise farklı bir son bekliyor. Bunlar beyaz cüce oluşum aşamasını geçerek çökmeyi sürdürecekler; çok büyük miktarlarda çekim enerjisi yayacaklar ve süpernova adı verilen büyük bir patlamayla dağılacaklardır. Kısa bir zaman süresince bir süpernova, 100 milyar yıldızın parlaklığına sahip olabilir. (‘Yeni’ anlamına gelen *nova* sözcüğü kökenini astronomlar tarafından yüzyıllardır kullanılan bir isimden alır. Tarihsel astronomi kayıtları, zaman zaman, gökyüzünde bir gece önce gözle görülür hiçbir şeyin bulunmadığı bir noktada birden bir ‘yeni yıldız’ın ortaya çıktığını yazar. Nova ve süpernovalara ‘konuk yıldız’ adını veren Çinliler bu olayları milattan yüzlerce yıl önce gözlemişlerdir). Süpernova patlamalarının zaman zaman, belki de her zaman, arkalarında kalıntı olarak nötron yıldızları bıraktığına inanılıyor. Bununla birlikte, eğer ortaya çıkan nötron yıldızının kütlesi Güneş kütlesinin üç katından büyükse, hiçbir iç basınç kütle çekiminin o ezici kuvvetine karşı koyamaz. Bu durumda yıldızın yapısı tümüyle çökerek kara delik adı verilen garip cismi oluşturur. Gelecek bölümde ayrıntıları ile anlatacağımız bir kara deliğin içinde kütle çekimi öylesine yoğundur ki cismin yüzeyinden ışık bile kaçamaz. Kara deliklere bu ad hiç ışık yaymamasından dolayı verilmiştir.

1987 yılının başlarında astronomların eline yıldızların evrim, çökme ve patlama teorilerini sınayabilecekleri çok ender bir fırsat geçti. Hiçbir uyarıda bulunmaksızın, yakınlarda bir yıldız patladı ve astronomlara daha önce hiç görmedikleri kadar ayrıntılı bir süpernova görünümü sundu (Burada ‘yakın’ sözcüğü ile komşu galaksi kastediliyor). 1987A adı verilen süpernovadan yayılan ışığı dikkatle inceleyen astronomlar eski fotoğraflardan patlayan yıldızı bularak süpernovaların kaynağı ve yapısı hakkında çok şey öğrendiler. Bu olay, gözlem için olduğu kadar teori için de bir zaferdi. Kobaltın radyoaktif bozunmasından kaynaklanan gamma ışınları, nikel miktarı, şok dalgası tarafından uzaya fırlatılan silikon, oksijen ve diğer element katmanları; her şey önceden hesaplandığı gibiydi.

1987A’dan kaynaklanan ele geçmez nötrinolar da saptandı. Önceki teorilere göre, nötrinolar bir nötron yıldızının oluşumu sırasında çok miktarda üretilmeliydi. Süpernova 1987A’dan kaynaklanan nötrinolar yalnızca süpernova' içinde varlığı öngörülen sıcaklık ve basınçların doğruluğunu onaylamakla kalmadı, fizikçilerin nötrinonun özelliklerine bazı sınırlar koyabilmelerine de olanak sağladı. Bu, teorik fizikteki bazı soruların yanıtlarının yıldızlarda bulunduğu ilk durum değildi.

1987A süpernovası bir raslantıyla keşfedildi. 1987 24 Şubatının erken saatlerinde, kuzey Şili’de bir dağın tepesinde Toronto Üniversitesi’nden astronom Ian Shelton 170000 ışık yılı uzaklıktaki küçük bir galaksi olan Büyük Magellan Bulutu’na ait bir fotoğraf plağı üzerinde çalışıyordu. Küçük (25 cm’lik) teleskobuyla bölgenin resmini çektiği sırada Shelton bir gariplik fark etti. Resmin ortasında çok parlak bir leke vardı. Dışarı çıktı, inanmaz gözlerle gökyüzüne baktı. Birkaç gece önce hiçbir şeyin olmadığı Büyük Magellan Bulutu’nda çok parlak yeni bir yıldız olduğunu gördü. Süpernovayı fark eden başkaları da vardı, bunlardan biri de Yeni Zelanda’daki evinin arka bahçesindeki teleskopla Büyük Magellan Bulutu’nu gözleyen amatör astronom Albert Jones idi. Bir kaç saat içinde haber Cambridge’deki Harvard-Smithsonian Astrofizik Merkezi’nde çalışan Brian Marsden’e ulaştırıldı. Marsden, Astronomi Telgrafları Merkez Bürosu(Central Bureau for Astronomical Telegrams) adlı astronomi verileri toplayan bir kuruluşta görev yapmaktaydı. Süpernova 1987A sözcükleri bir anda tüm dünyaya yayıldı. Astronomlar daha önceleri de süpernova olayları gözlemişlerdi. Onları böylesine heyecanlandırıp coşturan şey, 1987A’nın 383 yıldan beri gözlenen en yakın süpernova olmasıydı. 1604 yılından beri bu kadar yakın ve parlak, hatta çıplak gözle izlenebilen bir süpernova patlaması olmamıştı. Bu, süpernovayı yakından incelemek için ele geçirilen bir şanstı.

Gene 24 Şubatta keşfin rüzgarını hisseden, Harvard’da çalışan astronom Robert Kirshner NASA’ya telefon ederek Dünya çevresinde yörüngede bulunan Uluslararası Morötesi Uydusunun (International Ultraviolet Explorer,IUE) programlanmış gözlemlerini değiştirip 1987A’yı gözlemeye başlamasını sağladı. Böylece bir dizi yüksek teknoloji ürünü uydular, teleskoplar ve bilgisayarlar yardımıyla süpernova dikkatle incelenmeye başladı. Eğer 1604 yılında çıplak gözle bir süpernova izleyen son insan olan Johannes Kepler bunları görseydi, sihir veya büyü sanabilirdi.

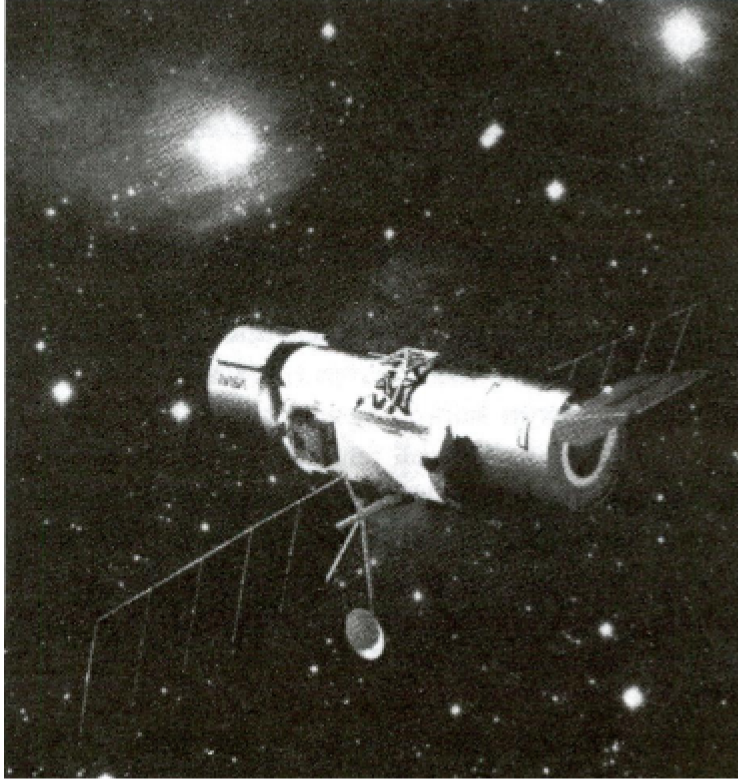
Neden kimi büyük kütleli yıldızlar süpernova oluyorlar, diğerleri ise kara delik-veya her ikisi de? Yıldız evriminin bu iki bitim noktası da henüz tam anlaşılmış değil. Tahminlere göre yıldızların oldukça büyük bir bölümünün kütleleri on Güneş kütlesinden büyük olmalı. Bu da onların sonunun kara delik olmasını sağlıyor. Buna karşın galaksimizdeki milyarlarca yıldız içinde yalnızca birkaç tane kara delik adayı bulundu. Şurası açık ki ya büyük kütleli yıldızlar nükleer yakıtlarını bitirmeden önce kütlelerinin büyük bir bölümünü kaybediyorlar ya da kara delikleri bulmak sanıldığından daha zor. Süpernovalarla ikilem tersine döndü. Doğa, süpernova yaratmakta hiç zorlanmıyor, asıl sorun teorik astronomlarda. Şimdiye kadar bilgisayar simülasyonları nükleer yakıtını bitirmiş hiçbir yıldızın kurallara uygun bir süpernova olarak patlamasını sağlayamadı. Teorik olarak yıldızın çökmesini sağlamak kolay ama sıçramasını, geri tepmesini sağlamak hiç de öyle değil. Bilgisayarlara verilen komutlarda sanki bir şey eksik gibi. Gözlenen süpernovalarda patlama biçiminde açığa çıkan enerjinin yüzde doksan dokuzu nötrinolar aracılığıyla salınır, geri kalan enerji ise genleşme kinetik enerjisi(hareket enerjisi), X-ışınları ve gamma ışınları biçimine dönüşür. Salınan nötrinoların ve ışınımların incelenmesi patlamanın nedeni konusuna açıklık getirebilir. Şu an çalışmakta olan ve inşa halinde olan nötrino detektörleri 1987A'daki başarılarını sürdürmek amacıyla gelecekteki süpernova patlamalarından yayılacak nötrinolara karşı tetikte olacaklar. Gamma-ışını gözlemleri de süpernova patlaması sırasında oluşan kimyasal elementleri saptamakta kullanılacak. Nasıl radyo ışınımı ve kızılötesi ışınımın duyarlı dalgaboyları ışınım yapan molekülleri tanımlayabiliyorsa, gamma-ışınımının dalga boyları da ışınım yapan atom çekirdeklerini tanımlar. Her atomun çekirdeği, dalgaboyu yalnızca o atoma özgü olan gamma-ışınları yayar. Özellikle kobalt, nikel, demir ve titanyum süpernova patlaması sırasında oluşur ve bu elementlerin bolluklarının ve değişik biçimlerinin incelenmesi süpernovanın işleyişi açısından çok değerli bilgiler sağlar.

Nisan 1991'de fırlatılarak Dünya çevresinde bir yörüngeye yerleştirilen Gamma Işın Uydusu'nun (Gamma Ray Observatory,GRO) duyarlılığı kendinden önceki uydulardan daha fazla olup uydu, diğer projelerin yanısıra süpernova gözlemleri de yapacak. Bu yeni uydunun ağırlığı 14 ton, boyutları ise ona güç sağlayan Güneş panellerinin uçlarından ölçüldüğünde 20 metrenin üzerinde. 1990'ların sonlarında astronomlar Nükleer Astrofizik Kaşifi (Nuclear Astropyhsics Explorer, NAE) gibi 100 milyon ışık yılı

uzaklıktaki süpernova patlamalarından kaynaklanan gamma ışınlarını ölçebilecek duyarlılığa sahip, daha gelişmiş uydular atmaya hazırlanıyorlar. Süpernova patlaması bir yıldızın yaşam süresi boyunca en fazla bir kez meydana geldiğinden, patlama sürecine girmiş bir yıldız yakalamak için dev uzay hacimlerinin gözlenmesi gerekir. NAE gamma ışını dalga boylarını yüzde 0.1 duyarlılıkla ölçebildiğinden, bu ışınları yayan atomların tanınmasında çok değerli bilgiler sağlayacak.

1990’lar için planlanan bir başka önemli astronomi uydusu da İleri X-ışını Astrofizik Uydusu’dur (Advanced X-ray Astropyhsics Facility, AXAF). Uzaydaki bu yeni uydu, yerküre çevresindeki yörüngesinde 1978-1981 yılları arasında dolanan Einstein X-ışını uydusunun yerini dolduracak. Yörüngede dolaşan 14 metre boyunda ve 4 metre çapında bir silindir biçimindeki AXAF’ın ağırlığı da 13 ton olacak. Einstein uydusu gibi AXAF da özel aynaları yardımıyla X-ışınlarını odaklayıp cisimlerin X-ışını görüntülerini oluşturabilecek. Yüzeye dik gelen X-ışınları bildiğimiz aynalar tarafından yansıtılmadığından AXAF’ın altın kaplı altı aynası o şekilde yerleştirilmiştir ki X-ışını fotonları bu aynalara bir kaç derecelik küçük açılarla gelir ve kaydedilirler. AXAF’ın açısal ayırma gücü Einstein uydusunun on katı olacaktır. Bu da aralarında 0.0001 derece olan iki cismin ayırt edilmesi anlamına geliyor. AXAF’ın duyarlılığı Einstein’ın 100 katı, tayfsal ayırma gücü ise 1000 katı olacak. AXAF’ın bilimsel görevleri arasında süpernovaların yaydığı X-ışınlarını analiz etmek de var. AXAF da Hubble Uzay Teleskopu, SIRTF ve GRO gibi atmosferin dışında, uzayda çalışmak üzere hazırlanmış yeni kuşak astronomi araçlarından biri. İnsanın yaşamı için gerekli olan atmosfer, astronomlar için bir baş ağrısıdır. Daha önce söz edildiği gibi, ışık Dünya çevresindeki atmosferin hareketli, rüzgarlı ve anaforlu katmanlarından geçtiğinden gök cisimlerinin görüntüleri titreşir ve bulanıklaşır. Dahası, birçok dalgaboyu soğurulur ve yeryüzüne hiçbir zaman ulaşamazlar. Almanların roket alanındaki öncüsü Hermann Julius Oberth teleskopların bulunması gereken yerin uzay olduğunu söylediğinde yıl 1923’tü. Ama Oberth’in düşüncesi teknolojinin kendisini yakalamasını bekledi. Uzaydaki ilk astronomi gözlemleri, ele geçirilen V-2 roketlerinin birkaç dakika da olsa atmosfer dışına çıkabilme olanakları kullanılarak 1940’ların sonlarında yapıldı. En önemli avantajları dengelilik ve uzun ömür olan uydular Yerküre çevresindeki yörüngelerine ilk kez 1960’larda yerleştirildiler.

Aşağı yukarı aynı sıralarda mikroçipler ortaya çıkarak uydulara yerleştirilebilecek ölçüde küçük bilgisayarların geliştirilmesine olanak sağladı. Bu bilgisayarlar teleskopların gözlem programını kontrol eder ve onları değişik zamanlarda değişik hedeflere yönlendirir. Yörüngedeki teleskop görüntüleri aldıktan sonra bilgisayarlar ve yüksek teknoloji ürünü diğer araçlar yardımıyla bu görüntüler yeryüzüne gönderilir. Bu işlemin hiçbir aşamasında film kullanılmaz. Teleskobun aldığı görüntüler elektrik sinyalleri biçiminde kaydedilir, sayısallaştırılır (sıfır ve birlerden oluşan bilgi birimlerine dönüştürülür), ve radyo ya da diğer röle uyduları aracılığıyla doğrudan yeryüzüne iletilir. Örneğin süpernova 1987A, yörüngede bulunan IUE uydusu tarafından izlendi. Radyo ile acele programlanan uydu, elektronik gözlerini hızla bu beklenmedik patlamaya çevirdi. Birdenbire ortaya çıkan ve önceden hiçbir uyarıda bulunmayan süpernova patlamaları karşısında böylesi çabuk tepkiler zorunludur.



Şekil 10. *Dünya çevresindeki yörüngesinde dönecek olan, X-ışınlarına duyarlı İleri X-Işını Astrofizik Uydusunun (AXAF) hayali görüntüsü*

Yıldızların yaşam çevriminde süpernovaların önemi çok büyüktür. Yıldızların patlamasıyla ortaya çıkan atıklar çevreye dağılarak yeni yıldızlar oluşturacak gaz bulutlarına yeni maddeler ekler. Bu nedenle süpernovalar sonu olduğu gibi başlangıcı da simgelerler. Teorik hesaplamalar, en hafif iki

element olan hidrojen ve helyum dışındaki tüm elementlerin yıldızların içindeki nükleer tepkimelerde üretildiğini gösteriyor. On milyar yıl kadar geçmişte, ilk yıldızlar oluşmadan önce yalnızca hidrojen ve helyum vardı. Aralarında yaşamın temelini oluşturan karbon ve oksijenin de bulunduğu yüzden fazla kimyasal elementin büyük çoğunluğu yıldızların içinde sentezlenerek uzaya dağıldı. Bu ‘tohumlama’nın bir bölümü, yıldızların yüzey katmanlarını uzaya püskürttükleri kırmızı dev evresinde, bir bölümü de sıcak yıldız atmosferinden kaynaklanan parçacık rüzgarlarıyla gerçekleşir. Geri kalanı da süpernova patlamaları sırasında olur. Güneş’imiz gibi geç kuşak yıldızlar, bu yeni elementlerce zenginleştirilen gazdan doğmuştur. Aslında farklı yıldız kuşakları birbirlerinden kimyasal bileşimleri ile ayrılırlar. Tümüyle hidrojen ve helyumdan oluşan yıldızlar ‘ilk kuşak’tır. Daha ağır elementlerin oluşturduğu yıldızlar da ikinci ve daha geç kuşaklar olarak bilinir. Yıldızlar arası ortamda bulunan gaz, kuşakları birbirine bağlar. Maddeyi yaşlı yıldızlardan alıp genç yıldızlara verir.

Süpernova kalıntılarının yaydığı X-ışınları ve gamma ışınlarının incelenmesi, süpernovaların çevreye yaydığı değişik atomların tanımlanabilmesini sağlar. Bu da GRO, NAE ve AXAF gibi uyduların görevidir. Süpernova patlaması sırasında üretilip çevredeki uzaya dağılan kimyasal elementler, kızılötesi ışımaları yoluyla da tanımlanabilirler. Planlama aşamasında olan SOFLA, uydusu bir uçak aracılığıyla hemen çalışma bölgesine götürülebileceğinden, kısa bir sürede süpernova patlamasından arta kalan maddeleri incelemeye başlayabilecektir. Ve SIRTF’nin yüksek duyarlılığı, Dünya’dan otuz milyon ışık yılı uzaklıktaki süpernovaların kızılötesi ölçümlerini rahat rahat yapabilecektir.

Yaşlı ve genç yıldızlar son bir yolla daha birbirlerine bağlıdırlar. Süpernova patlamasının yarattığı şok dalgaları çevredeki yıldızlararası gazı sıkıştırır. Böyle bir sıkıştırma, yeni yıldızların oluşum sürecini tetikleyebilir. Bunun da ötesinde süpernovalar çevredeki gazın enerjisini arttırırlar. Çevreye dağılan madde ve ışınım, büyük gaz hacimlerini bir milyon dereceye kadar ısıtır. Bu sıcaklıklardaki bir gaz elektromanyetik tayfın morötesi ve X-ışını bölgelerinde ışıma yapar. Bu ışımalar AXAF ile birlikte tasarı halinde olan Uzak Morötesi Spektroskopi Uydusu(Far Ultraviolet Spectroscopy Explorer) ve Uç Morötesi Uydusu(Extreme Ultraviolet Explorer) tarafından incelenebilecektir. Enerjisi artan gazın değişen yapısı, yıldızları oluşturan ortamın koşullarını ve bunların nedenlerinin ipuçlarını verir.

Galaksilerin Yaşam Öyküleri

Galaksilerin Keşfi

Gökyüzünün en eski gizleri arasında, M.S. ikinci yüzyılda Hipparchus'un da not ettiği sisli, puslu, bulutumsu lekeler ya da bulutsular (nebulalar) yer alır. Bulutsular, Dünya'mızın atmosferi içinde olamayacak kadar uzak, tek bir yıldız olamayacak kadar dağınıktılar. Peki, bunlar neydi? 1610 yılında yeni oyuncağı teleskopun başında Galileo, büyük bir keyifle şöyle yazıyordu: "Bugüne kadar bütün astronomların 'bulutumsu' dediği sise ve pusa benzeyen lekeler, olağanüstü bir biçimde bir arada bulunan yıldız grupları... Tek tek yıldızlar gözümüzden kaçsa bile.."

Bulutsulardan biri, geceleri gökyüzünü boydan boya kat ettiği görülen sönük, beyaz ışık kuşağıdır. Eski Mezopotamya'da 'cennet nehri', adı verilen bu kuşak günümüzde 'Samanyolu' olarak bilinir. 1785 yılında İngiliz astronom ve müzikçisi William Herschel yıldız ışığının farklı doğrultulardaki yoğunluğunu ölçerek Samanyolu'nun bir biley taşı biçiminde olduğunu buldu. Bu biley taşı, bir merkez çevresinde dönen 100 milyar yıldızı kapsayan yassılaşmış bir disk biçimindedir. Böyle yıldız topluluklarına galaksi (gökada) adı verilir. Samanyolu bizim kendi galaksimizdir ('Galaksi' sözcüğü Yunanca'da süt anlamına gelen *galaxias* kökeninden türemiştir). Bugün, evrenin her biri gaz ve milyarlarca yıldız içeren galaksilerle dolu olduğunu biliyoruz. Güneş'imizin Samanyolu merkezi çevresindeki bir turu yaklaşık 200 milyon yıl sürer. Galaksiler çok çeşitli biçimlerde olabilir. Bazıları hemen hemen küreseldir, diğerleri ise Samanyolu gibi ortası şişkin yassı diskler biçimindedir.

Şekil 11a. Çubuklu sarmal galaksi NGC 3992.



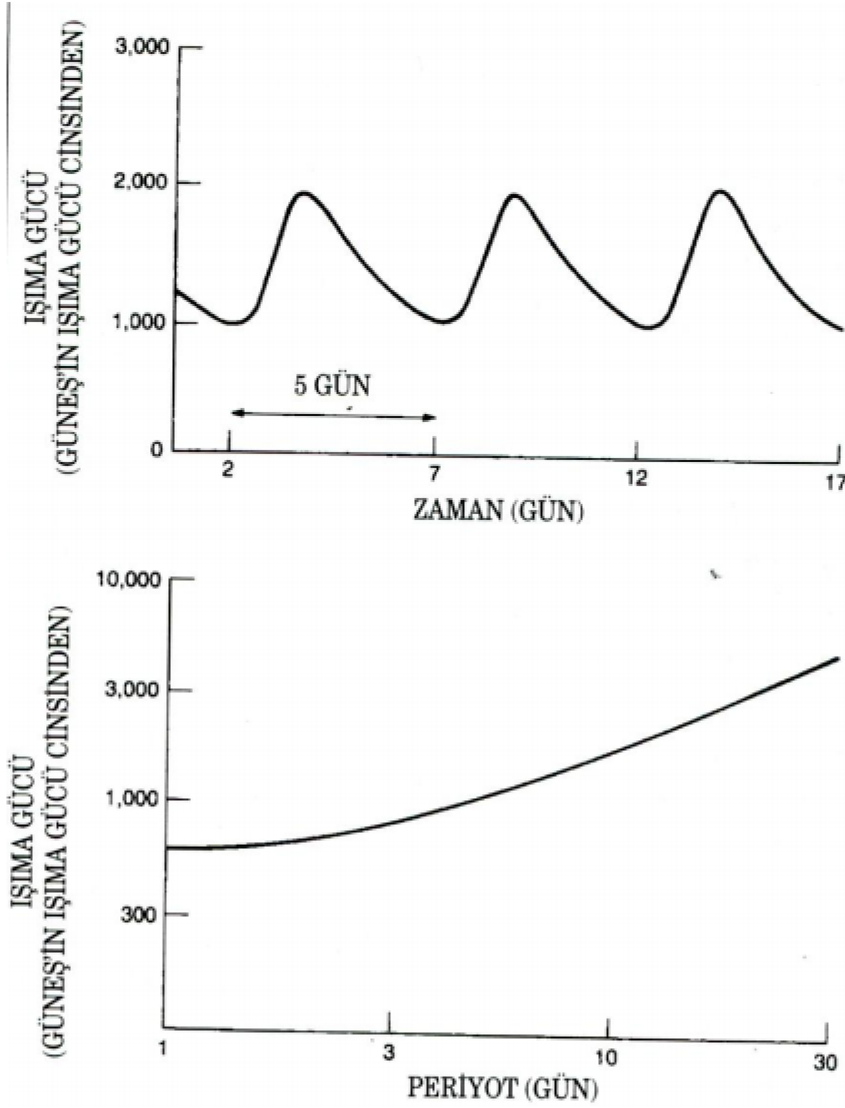


Şekil 11b. Sarmal Galaksi NGC 4565

Herschel'in çalışmasından hemen hemen yüz elli yıl sonra bile astronomlar, Samanyolu'nun boyutları ve hatta başka galaksiler olup olmadığı konusunda pek emin değildiler. Sorun, yıldızların uzaklıklarını ölçmekteydi. Gökyüzüne baktığımızda eni ve boyu algılayabiliriz ama derinliği algılayamayız-tıpkı içindeki nesnelerin gerçek boyutları konusunda hiçbir fikrimizin olmadığı bir fotoğrafa bakar gibi. Dahası, önceki bölümde görüldüğü gibi yıldızların ışıma güçleri çok çeşitli olabildiğinden, yıldızların görünür parlaklıkları, uzaklıkları konusunda iyi bir gösterge değildir. Sönük görünen bir yıldız gerçekte orta parlaklıkta ama uzak bir yıldız olabileceği gibi çok sönük ve çok yakın bir yıldız da olabilir.

Harvard Koleji Gözlemevi'nden Henrietta Leavitt 1912 yılında Cepheid değişenleri adı verilen bir grup yıldızın önemli bir özelliğini keşfettiğinde, astronomideki uzaklık ölçümleri konusunda bir sıçrama gerçekleşti. İlk

olarak on sekizinci yüzyılda bulunan Cepheid değişenlerinin parlaklıkları, düzenli salmımlar gösterir: Sönük, parlak, sönük... (Bugün bu salınımların yıldız yüzeyinin dönemli genleşme ve büzülmeleri olduğunu biliyoruz). Parlaklıklarındaki düzenli salınmalar bu yıldızların parmak izleri gibidir. Birçok fotoğraf plağını inceleyen Leavitt, bu yıldızların ışıma güçleri ile parlaklıklarının değişim dönemi arasında kesin bir ilişki olduğunu buldu. Böyle bir ilişki, uzaklıkları bilinen, yakındaki Cepheid değişenlerinde doğru sonuç verecek biçimde ayarlanabilir ve daha sonra da uzaktaki Cepheid yıldızlarının uzaklıklarını ölçmekte kullanılabilir. Örneğin astronomlar, uzaklığı bilinmeyen ama parlaklık salınım dönemi on gün olan belli bir Cepheid yıldızını gözleyebilirler. Leavitt'in bulduğu ilişkiye göre bu salınım dönemi Güneş'imizin 2000 katı bir ışıma gücüne karşılık gelir. Bu ışıma gücünü yıldızın gözlenen parlaklığıyla karşılaştırarak, astronomlar yıldızın ne kadar uzakta olduğunu saptayabilir. Bu, tıpkı gücü ve görünen parlaklığı bilinen bir elektrik ampulünün uzaklığını saptamaya benzer. Eğer bir astronom, bir küresel kümenin, nebula veya galaksinin uzaklığını ölçmek isterse, bunların içinde bir Cepheid yıldızı bulması ve onun parlaklık değişim dönemini ölçmesi yeterlidir. Cepheid yıldızları uzayın kilometre taşları gibidir.

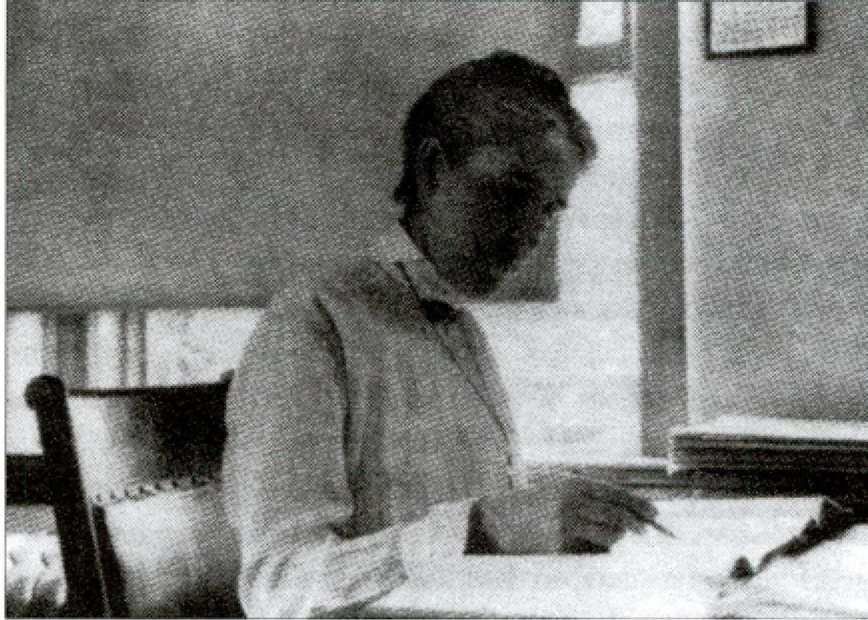


Şekil 12. *Cepheid değişen yıldızlarının periyot-ışıma gücü ilişkisi. Üstteki eğri, tipik bir Cepheid yıldızının ışıma gücünün zamanla değişimini gösteriyor. Bu eğrinin temsil ettiği Cepheid yıldızının ışıma gücü, yaklaşık beş günlük bir periyotla Güneş'in ışıma gücünün 1000-2000 katı arasında değişiyor. Alttaki eğride ise, Cepheid yıldızlarının ortalama ışıma gücünün periyotla nasıl değiştiği görülüyor. Üstteki eğrinin temsil ettiği Cepheid yıldızı, alttaki eğride yalnızca bir noktaya karşılık geliyor.*

Her ne kadar sağlığında pek itibar görmemiş olsa da Leavitt'in çalışmasının önemi konusunda ne söylense azdır. Astronomide uzaklık ölçümlerinin yaşamsal rolü vardır. Henrietta Swan Leavitt, 4 temmuz 1868'de Massachusetts'deki Lancaster'de doğdu.

Dindar bir aileden geldiği için ömrü boyunca anne ve babasının kesin Püriten kurallarına saygılı yaşadı. Leavitt, 1892'de Radcliffe Koleji Astronomi Bölümü'nden mezun olduktan sonra yakınlardaki Harvard Koleji Gözlemevi'nde gönüllü araştırma asistanlığı yapmaya başladı.

1902’de ücretli ve kalıcı bir kadroya geçerek astronomi fotoğrafları bölümü şefi oldu. Yaptığı işler arasında geceler boyu arka arkaya çekilmiş gökyüzü fotoğraflarını karşılaştırarak hangi yıldızların parlaklığının ne kadar değiştiğini saptamak da vardı. Bu tür çalışmalar son derece büyük bir sabır ve hüner gerektirir. Meslek yaşamı boyunca Leavitt 2400 değişen yıldız buldu ve analiz etti. Leavitt, Willaminia Fleming ve Annie Jump Cannon ile birlikte Harvard Koleji Gözlemevi müdürü Edward Pickering tarafından gökyüzü fotoğraflarını incelemeleri için ücret ödenen bir grup kadın arasındaydı. Yüzyılın başlarında fotoğraf çalışması çok önemli bir araç olarak astronomi tarihinde ilk kez sahneye çıkarken, Leavitt, Cannon ve Fleming bu yeni aracı ilk kullananlar arasındaydılar.



Neredeyse doğuştan astronom olan ve çok geçmeden Pickering’in yerine Harvard Koleji Gözlemevi direktörlüğüne getirilen Harlow Shapley, 1918 yılında Samanyolu’nun değişik yerlerinde bulunan 230 Cepheid yıldızının uzaklıklarını ölçmek üzere bir çalışma başlattı. Çalışmasını bitirdiğinde Samanyolu’nun ayrıntılı bir haritasını da hazırlayan Shapley, galaksimizin çapını 300000 ışık yılı olarak hesapladı. Günümüzde kabul edilen değer ise 100000 ışık yılıdır. Samanyolu’nun bir üyesi olan Güneş’imiz merkezden itibaren galaksi yarıçapının üçte ikisi uzaklığında yer alır. İlk kez Shapley’in araştırması ile galaksimizin biçimi ve boyutları, akla yakın bir biçimde ölçülmüş oldu.

Ama şu sorunun yanıtı hâlâ verilmemişti: Diğer bulutsular neydi ve neredeydiler? Bunlar Samanyolu içindeki yıldız kümeleri miydi yoksa her

biri kendi başına bir galaksi miydi? Astronomlar heyecanlı bir biçimde bu soruyu tartışıyorlardı. En azından bulutsuların bir bölümü bizim galaksimizin içinde olmalıydı. Kaliforniya'daki Mount Wilson Gözlemevi'ndeki bir teleskopla çalışan Edwin Hubble, 1924 yılında Andromeda bulutsusunun içinde bir Cepheid yıldızı buldu ve uzaklığını ölçmeyi başardı. Andromeda, galaksimizin çok ötesinde, 2 milyon ışık yılı uzakta bir yıldız topluluğuydu. Böylece Andromeda'nın bir başka galaksi olduğu inkar edilemez bir biçimde ortaya çıktı. Edwin Hubble da galaksi dışı astronominin babası olarak tarihe geçti.

Çok geçmeden sönük bulutsulardan çoğunun aslında kendi başlarına galaksiler olduğu ortaya çıktı. Bu yeni bilgiyle de astronomların önünde yeni ve daha büyük bir evren görüntüsü açılmış oldu. Tüm dikkat galaksilere yöneltildi. Galaksiler arası ortalama uzaklıklar bir galaksinin çapının yüz katı ya da 10 milyon ışık yılı civarındadır. Bu nedenle eğer dev bir kozmik yaratık olsaydı, şuraya buraya serpiştirilmiş yıldız adaları, galaksiler dışında uzayı bomboş bir deniz gibi görecekti.

Bununla birlikte, bir başka açıdan bakıldığında, galaksiler arası uzaklıklar, ölçek de göz önüne alındığında yıldızlar arası uzaklıklardan daha küçüktür. Bir galaksi içindeki yıldızların arasındaki uzaklıklar ortalama olarak on ışık yılı ya da bir yıldızın çapının 100 *milyon* katı kadardır. Bu nedenle her birimi bir yıldız boyutlarında olan bir galaksi yapılanmasında yıldızlar arasında yüz milyon uzaklık birimi varken, her birimi bir galaksi boyutlarında olan bir evren yapılanmasında galaksiler arasında yalnızca yüz uzaklık birimi bulunur.

Galaksilerin anatomik yapısını anlamaya çalışmak, günümüzde astronomlarının en fazla zaman ayırdıkları konulardan biridir. Neden bazı galaksiler genellikle biçimlenmemiş gaz ve tozdan oluşmaktayken diğerleri hemen tümüyle yıldızlardan oluşur? Galaksilerin biçimlerini belirleyen şey nedir? Neden bazı galaksiler hemen hemen küresel yapıda iken diğerleri yassı diskler biçimindedir? Acaba bizimki gibi sarmal galaksilerde önce çekirdek bölgesi, daha sonra disk mi biçimlenir yoksa bunun tersi mi gerçekleşir? Bazı galaksilerin -çubuklar gibi, halkalar gibi- değişik ve garip biçimleri nasıl ortaya çıkar? Bu garip ve değişik biçimler ilk başta mı ortaya çıkar yoksa galaksi içindeki kütle çekim kuvvetleri tarafından sonradan mı biçimlendirilir? Yoksa bu oluşumlarda başka bir galaksi ile gerçekleşmiş olabilecek yakın etkileşimlerin rolü mü var?

Galaksi astronomisindeki en şaşırtıcı gelişme, galaksilerin çoğunluğunun çevresinde karanlık madde adı verilen gözlenemeyen maddeden meydana gelen, yaklaşık küresel biçimde halelerin var olduğu gerçeğinin anlaşılması olmuştur. 1970'lerin ortalarında Princeton'dan Jeremiah Ostriker ve James Peebles ile Stonybrook New York State Üniversitesi'nden Amos Yahil, birbiri çevresinde dönen iki galaksiden başlayıp ortak bir merkez çevresinde dönen galaksi gruplarına kadar çok çeşitli sistemlerin yörünge hareketlerine ilişkin veriler toplayıp analiz ettikten sonra bu sistemlerde gözlenen maddenin on katı kadar görünmeyen madde olması gerektiği sonucuna vardılar. Benzer bir analiz, bağımsız olarak Estonya'da J. Einasto, A. Kaasik ve A. Saar tarafından da yapıldı. Karanlık maddenin varlığı, 1978'de Washington Carnegie Enstitüsü'nden Vera Rubin ve arkadaşları ile Groningen Üniversitesi'nden Albert Bosma'nın çalışmaları sonucunda hiçbir kuşkuya yer bırakmayacak biçimde ortaya çıktı. Yakındaki galaksilerin çevresinde dönen gazların hızını ölçen araştırmacılar, bu galaksilerin çevresinde büyük kütleye sahip, gözlenemeyen (ışıma yapmayan) haleler bulunduğu yönünde açık gözlemsel kanıtlar buldular. Gözlenebilen kütlenin tek başına yörüngede dönen gazları ölçülen hızlara ulaştırması olanaksızdı.

Günümüzde hemen hemen tüm astronomlar karanlık madde gerçeğini kabul ediyorlar. Galaksilerin yapılarındaki dengeyi, bu galaksilerdeki yıldız ve gazların dönme hızlarını ve galaksilerin birbirleri ile olan fiziksel ilişkilerini açıklayabilmek için bu galaksilerin halelerindeki karanlık maddenin varlığını kabul etmek zorunludur. Nasıl buzdağlarının fotoğrafları buzdağlarının suyun altında kalan çok büyük bölümleri hakkında hiçbir fikir vermiyorsa, galaksi fotoğrafları da galaksilerin bu büyük kütleli bölümleri hakkında fikir vermez. Gelecek bölümde karanlık madde konusu daha derinlemesine işlenecektir.

Astronomlar, çevrede dönen hidrojen gazının *yeri*'ni inceleyerek de galaksilerin biçimleri konusunda pek çok şey öğrendiler. Bu gaz, yıldızların bulunmadığı bölgelerde yer alır ve 21 cm dalgaboyunda, çok özel radyo dalgaları yayar. Röntgen filmleri çekilecek hastaların vücuduna radyoaktif iyot verilmesi gibi hidrojen gazı da izleyici görevi yapar. Üstelik bu gaz yerli yerindedir. Son zamanlarda astronomlar yüzlerce galakside karbon monoksit gazı buldular. Hidrojenin bulunduğu uzaklığın çok daha uzaklarından varlığı saptanabilen ve kendine özel dalgaboyunda radyo dalgaları yayan bu gaz da, galaksilerin daha önce hiç gözlenememiş

burulma ve dönme hareketlerini ortaya çıkarmıştır. Yeni radyo teleskoplar, karbon monoksit gazının varlığını saptayarak çok uzaklardaki galaksilerin ayrıntılı görüntülerini oluşturabileceklerdir.

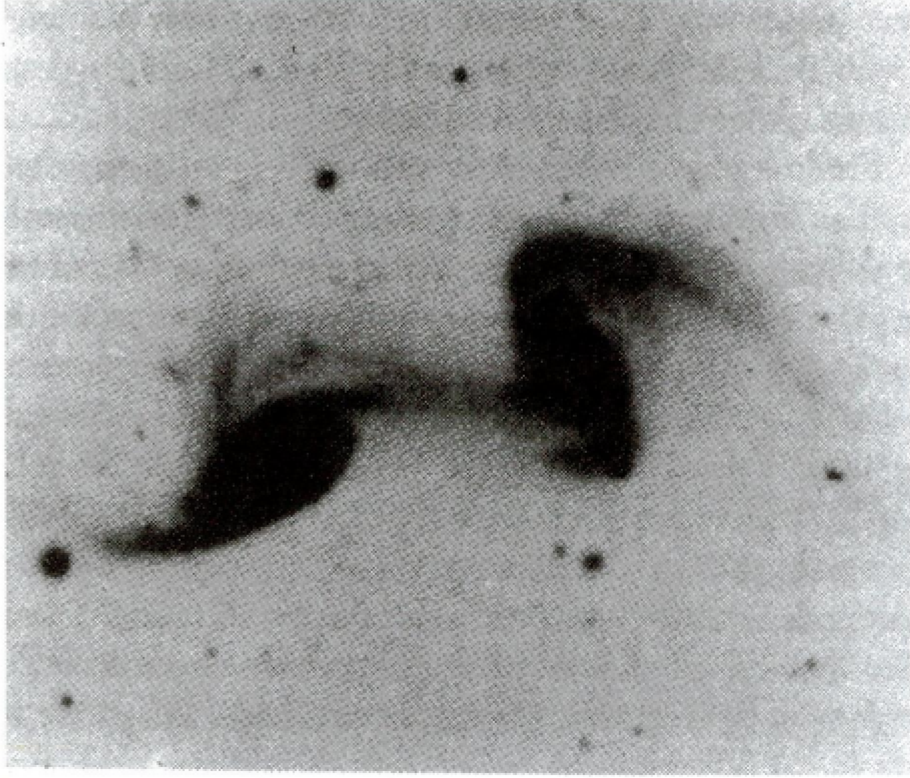
Galaksilerin Evrimi

Keşiflerinden uzun yıllar sonrasına kadar galaksilerin sabit ve değişmez oldukları varsayılmıştır. Galaksiler, gücü bilinen elektrik ampullerine benzetilerek görünür parlaklıklarından uzaklıklarını saptamak üzere yararlanılmıştır. Galaksiler konusundaki bu durağanlık 1950'lerden itibaren değişmeye başladı. Yeni radyo teleskoplar, merkezlerinden dışarıya doğru fışkıran gazlardan yoğun radyo dalgaları yayılan galaksiler buldular. Bu radyo dalgalarını inceleyen astronomlar, gazların hızının ışık hızına yakın olması gerektiği sonucunu çıkardılar. Gaz sütunlarının boyu en çok 1 milyon ışık yılı civarında olduğundan, oluşumları bir milyon yıldan daha eskiye dayanmıyor olmalıdır (Astronomi standartlarına göre bu oldukça kısa bir süredir). Bu 'radyo galaksilerinde bir şeylerin değişmekte olduğu açıkça görülüyor. Ölü gayzerlerde ise bu tür fışkırmalar pek görülmez.

Radyo galaksiler, şiddetli olayların açık ipuçlarının gözlendiği ilk galaksilerdir. Keşifleri de, gözle görülemeyen ama astronomi araçları tarafından 'görülen' ilk elektromanyetik ışınım türü olan kozmik radyo dalgalarının keşfi sonucunda gerçekleşmiştir. Radyo astronomi, Bell Telefon Laboratuarı'nda çalışan Amerikalı mühendis Karl Jansky'nin dönen bir radyo anteni yaparak uzaydan gelen sürekli radyo parazitlerini saptadığı 1931 yılında doğdu. İzleyen on beş yıl içinde tüm dünyada Jansky'nin rastlantısal keşfinin izinden giden tek kişi, bir elektronik mühendisi, amatör radyocu ve amatör astronom olan Grote Reber oldu.

Reber 1911 yılında Wheaton, Illinois'de doğdu. 1936'da 25 yaşında olan Reber, Wheaton'daki evinin arka bahçesinde 2x4 cm'lik çıtalardan oluşan ahşap bir kulenin üzerine yaklaşık 10 metre çapında metal bir çanak monte etti. Bu, evrenden gelen radyo dalgalarını almak üzere özel olarak bir anten biçiminde inşa edilmiş ilk radyo teleskoptu. 1942'de Reber, Samanyolu'nun ilk radyo ışınım haritalarını yapmıştı. 1940'ların ortalarına kadar Reber'in tek radyo astronom olduğu düşünülüyor. 1940'ların sonlarına doğru Avusturya, İngiltere, Hollanda ve Amerika Birleşik Devletleri'nde başka radyo teleskopların inşa edilmesiyle radyo astronomi kurulmuş oldu.

1950’lerde bazı galaksilerde keşfedilen radyo dalgaları yayan gaz akımları da galaksi etkinliği ve evriminin ilk bulguları oldu.



Şekil 13. *Yakından birbirleri ile etkileşen ve karşılıklı kütle çekimleri nedeniyle birbirlerinin şekillerini bozan iki galaksi. Bu galaksiler, NGC 5426 ve NGC 5427’dir.*

1970’lerde astronomlar, *tüm* galaksilerin evrim geçirmelerinin gerekli olduğunu fark ettiler. Teksas Üniversitesi’nde çalışan Yeni Zelandalı bir astronom olan Beatrice Tinsley, galaksilerin yıldızlardan oluştuğuna dikkati çekti. Yıldızlar yaşlanır ve değişirler. Yıldızlar aynı zamanda yıldızlararası gazın kimyasal yapısını da değiştirirler. Bu, gittikçe daha ağır atomların üretildiği tek yönlü bir süreçtir. Bu nedenle galaksilerin kimyasal yapısı, renkleri ve parlaklıkları da zaman içinde değişmek zorundadır.

Galaksiler aynı zamanda yakınlarında bulunan diğer galaksilerle etkileşimde bulunmak yoluyla da değişime uğrarlar. Karşılıklı kütle çekimi nedeniyle galaksi grupları meydana getirirler. Galaksilerin birbirine normalden daha yakın bulunduğu galaksi gruplarında, biri diğerinin çekim alanına girerek birlikte dönmeye başlar ve özellikleri kendilerini oluşturan galaksilerden çok farklı, karmaşık özelliklere sahip yeni, bileşik galaksiler meydana getirirler. Kimi galaksi grubu fotoğraflarında, merkezdeki galaksiler garip bir biçimde çarpık, dolaşık bir görüntü verirler. Bu, başka

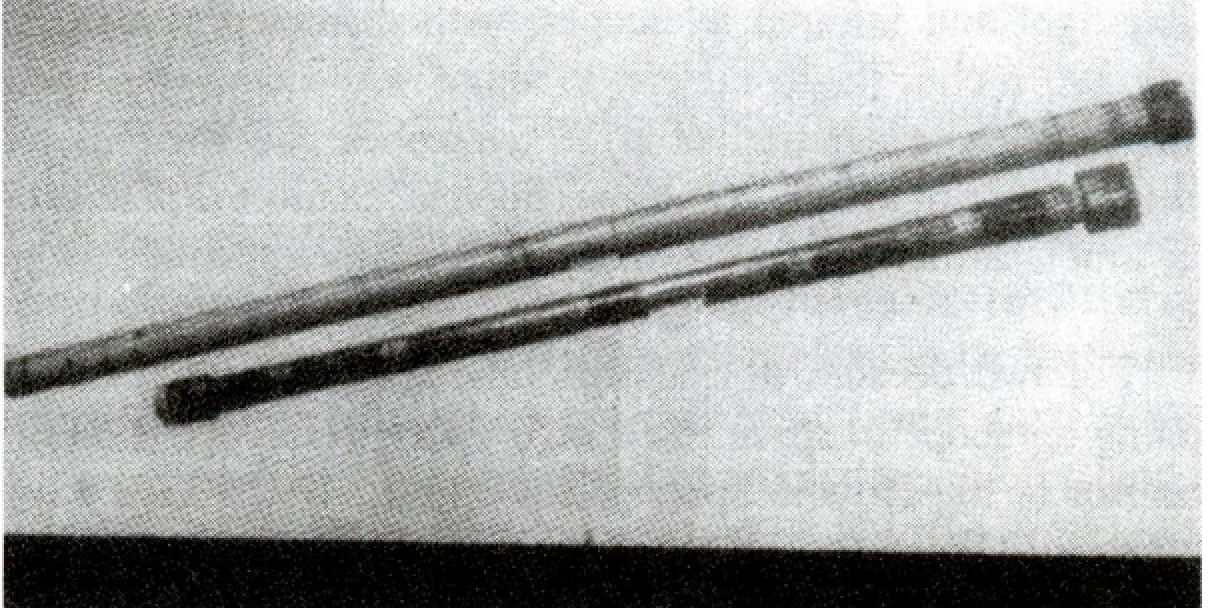
ve kendilerinden daha büyük bir galaksi tarafından yutulmakta olduklarının bir işaretidir. Bazı diğer fotoğraflarda ise gerçi yalnızca bir galaksi görülür ama bunun garip biçimli değişik kuyrukları, kolları ve başka özellikleri de yakındaki bir diğer galaksi ile çok şiddetli bir etkileşimin habercisidir.

Galaksilerin evrimine ilişkin doğrudan kanıt bulmak yıldızlardan daha zordur. Yıldızlar sürekli olarak doğduklarından herhangi büyük bir uzay parçasında evrimlerinin her aşamasında yıldızlar bulunur. Ama galaksilerin çoğunluğu uzak bir geçmişte büyük bir olasılıkla aynı zamanda oluştu. Dolayısıyla herhangi bir zaman dilimi ele alındığında -örneğin bugün- galaksilerin çoğunluğu hemen hemen aynı yaşta olabilir. O zaman yaşamlarının değişik dönemlerindeki galaksileri nasıl gözleyebiliriz?

Çözüm, ışıktadır. Işığın hızı saniyede 300000 km'dir. Uzaydaki uzaklıklar ise çok büyüktür. Bugün 2 milyon ışık yılı uzaklıktaki Andromeda galaksisinin fotoğrafını çektiğimizde onun 2 milyon yıl önceki durumunu görürüz; ışığın galaksiden Dünya'mıza ulaşması 2 milyon yıl almıştır. 50 milyon ışık yılı ötedeki Virgo kümesindeki bir galaksiye baktığımızda, ondan 50 milyon yıl önce ayrılmış olan ışığı görürüz. Bu nedenle *uzayın gittikçe daha derinlerine bakmak, zamanda da gittikçe daha eskiye bakmak demektir.* Teleskoplar bu anlamda zaman makineleridirler. Teleskopla evrimlerinin gittikçe daha erken dönemlerinde bulunan galaksileri gözleyebiliriz.

Ne yazık ki uzak galaksilerden gelen ışık da zayıftır. Böylesine zayıf ışıkları algılamak için astronomlar büyük teleskoplara gereksinim duyarlar. Yirmi otuz yıl öncesine kadar hem büyük teleskopların sayıları çok azdı, hem de bu teleskoplara bağlı araçlar oldukça ilkeldi.

Bir milyar ışık yılının ötesinde saptanabilen ancak birkaç galaksi vardı. 1970'lerin başından itibaren, başta Arizona, Tucson'daki Kitt Peak ve Mount Hopkins; Şili'deki Cerro Tololo olmak üzere bir dizi yeni ve büyük teleskop inşa edildi.



Şekil 14. *Galileo'nun, 1610 yılından kalan iki teleskopu. Boyları 1 metre civarında olan bu teleskoplar, Floransa'daki Bilim Tarihi Müzesinde bulunmaktadır.*

Daha da önemlisi, zayıf ışığı toplamakta ve kaydetmekte kullanılan yeni araçlarda ve teknolojide bir patlama oldu. Fotoğraf plakları yerlerini bilgisayar kontrollü elektronik detektörlere bıraktı. Bu araçlar, ışığı fotoğraf plağındaki karanlık lekeler yerine elektrik sinyallerine dönüştürüyor ve onlardan on-yüz kat daha fazla ışık toplayabiliyorlardı. Elektrik sinyalleriyle çalışmak kolaydır. Bu sinyalleri sayısallaştırabilir, daha sonra işlemek üzere bir bilgisayar ortamında saklayabilirsiniz. Örneğin, bir galaksinin görüntüsü, özellikleri bilinen, bize daha yakın bir başka galaksi tarafından bozuluyorsa, bilgisayar elektronik olarak bu ikinci galaksinin ışığını ortamdan silerek ilk galaksinin temiz bir görüntüsünü oluşturabilir.

Şu içinde bulunduğumuz yıllarda astronomlar, çapları sekiz ile on metre arasında değişen görünür ışık ve kızılötesi teleskopları inşa etmekteler. Bu yeni nesil büyük teleskoplar ve onların zayıf ışığı görmekteki üstün yetenekleri sayesinde astronomlar, çok uzak ve evrimlerinin şu ana kadar gözleyemedikleri kadar erken aşamasında olan galaksileri görebileceklerini umuyorlar.

Yirmi yıl sonrası için astronomlar Dünya çevresine yörüngede dolanması planlanan ve Büyük Uzay Teleskobu(Larga Space Telescope, LST) adı verilen bir teleskopun düşünü kuruyorlar. Hubble Uzay Teleskobu'nun mirasçısı olacak olan LST'nin aynasının çapı altı metre ve açısal çözümleme gücü de kısa dalga boylarında Hubble'in on katı kadar olacak.

Kızılötesinden morötesine kadar tüm dalga boylarına duyarlı olacak LST, çok uzaklardaki galaksileri inceleyecek. Buna ek olarak LST, yıldız oluşum bölgelerini araştıracak, başka yıldızların çevresinde gezegen arayacak ve yıldızlararası ortamdaki gazları inceleyecek.

Acaba genç galaksilerde ne tür yıldızlar bulunuyor? Tek tek yıldızların doğup ölmeleri bir yana, acaba galaksideki yıldızların büyük çoğunluğu birlikte nasıl yaşlanıyorlar? Galaksilerin biçimi zamanla değişiyor mu, yoksa ilk oluştuğu zamandaki biçimini mi koruyor? Bir galaksinin toplam parlaklığı zamanla nasıl değişiyor? Gruplardaki komşu galaksiler ve galaksi kümeleri karşılıklı nasıl etkileşiyorlar? Tüm bunlar galaksi dışı astronomiyi ilgilendiren kritik sorulardır.

Astronomlar, eğer tümü değilse de galaksilerin çoğunluğunun, hemen hemen enerjilerinin tümünün merkez bölgelerinde üretildiği çok enerjik bir erken evrim aşamasından geçtiklerine inanıyorlar. Bu inancın temelinde kuasarların 1960'lardaki keşfi var. Kuasarlar fotoğraf plaklarında görüntü olarak yıldızları andırmakla birlikte, ışıma güçleri galaksilerin toplam ışıma güçlerinden büyük olabiliyor. Kuasarlar, Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'ndeki Palomar Gözlemevi'nde çalışan Maarten Schmidt tarafından 1963 yılında bir raslantı sonucu bulundu. Schmidt, bu cisimlerden kaynaklanan ışınımın bazı özelliklerine (renkleri ve önümüzdeki bölümde sözü edilecek olan kırmızıya kaymaları) bakarak, kuasarların Dünya'dan çok uzakta olmaları gerektiğini fark etti. Yalnızca son derece yüksek ışıma gücüne sahip olan bir cisim çok uzakta olmasına karşın parlak görünebilir. Dahası, kuasarların küçük boyutları, çok büyük miktarda enerjinin neredeyse Güneş sistemimiz boyutlarında küçük bir bölgede üretildiğini gösteriyor. Kuasarlar, evrendeki en yüksek enerjili uzay cisimleri olup sahneye tümüyle sürpriz olarak çıktılar. Hiç kimse kuasarların varlığını önceden tahmin etmemişti.

Kuasarların yalnızca çok uzaklarda gözlenmesi önemli bir noktadır. Yakınlardaki kuasarların sayısı çok azdır. Astronomide uzaklık zaman demek olduğundan, kuasarların çoğunluğunun uzak bir geçmişte yaşayıp ölmüş olduklarını düşünebiliriz. Kuasarlar evrenin dinozorlarıdırlar. Astronomların, yakında bulunan kuasarların çevresinde sönük bir galaksi yapısı olduğuna ilişkin sezgileri ve kuşkuları var. Bu nedenlerle bilim adamları, kuasarların, evrimlerinin ilk aşamalarında olan galaksilerin çekirdek bölümleri oldukları doğrultusunda teoriler ortaya atıyorlar. Yeni

nesil görünür ışık ve kızılötesi teleskoplar ile şu anda yörüngede bulunan Hubble Uzay Teleskopu, yapısında kuasarlar bulunduran birçok genç galaksinin zayıf ışığını çözümleyerek, galaksilerle kuasarlar arasındaki ilişki konusunda çok önemli ipuçları sağlayacaklar. Günümüzdeki en önemli soru şu: Neden uzaktaki galaksilerden bazıları kuasar içerirken diğerleri içermiyor?

SIRTF gibi yeni kızılötesi teleskoplar ve yerden gözlem yapılan kızılötesi teleskoplar da kuasar araştırmasında önemli roller oynayacaklar. Birçok kuasarı çevreliyor gibi görünen toz bulutları görünür ışığı perdelerler. Kuasarın enerjisi bu toz bulutu tarafından soğurulup kızılötesi ışınım biçiminde yeniden yayınlanır. 1980'lerde Kızılötesi Astronomi Uydusu, merkezlerinde kuasarların bulunduğu düşünülen ve enerjilerinin yüzde doksanı veya daha fazlasını kızılötesi ışınım biçiminde yayan çok parlak galaksiler buldu. Dahası, bu galaksilerin pek çoğu başka galaksilerle çarpışıyor gibi gözüküyordu. Galaksilerarası çarpışmalar kuasarların ortaya çıkmasına neden olabilir mi, veya onların enerjisini arttırabilir mi? Çok üstün duyarlılığı sayesinde SIRTF, bu gizemli 'kızılötesi galaksiler'in doğasını ve evrimini inceleyebilecek. Kuasarların çoğunluğunun galaksilerarası çarpışmalar sonucu ortaya çıkıp çıkmadığını SIRTF saptayacak. Son olarak, çok yüksek açısal çözümleme gücüne sahip olan yeni radyo teleskoplar, özellikle VLBA kuasarların radyo dalgaboyu görüntülerini hazırlayabilecek. Aslında kuasarların keşfinde de yaydıkları yoğun radyo ışınımının büyük rolü var.

Merkezlerinde bulunması olası kuasar olgusundan başka genç bir galaksi neye benzer? Bu sorunun yanıtı konusunda astronomlar pek emin değiller. Galaksiler büyük bir olasılıkla evrenin ortaya çıkmasından birkaç yüz milyon yıl sonra, günümüzden 10 - 20 milyar yıl önce oluştular. Kısaca söz edileceği gibi, astronomlar galaksilerin de yıldızlara benzer biçimde oluştuklarını düşünüyorlar: Bir gaz bulutunun sıkışması sonucu. Eğer sonuçta galaksiyi oluşturacak büyük ölçekli bir sıkışmanın yanısıra yıldızları oluşturacak küçük ölçekli sıkışmalar da oluyorsa, galaksi kendi içindeki yıldızlarla aynı anda oluşuyor demektir. Oluşumları sırasında yıldızlar kızılötesi ışınım yaydıklarından kızılötesi teleskoplarla gözlenebilirler. Kızılötesi detektörlerle donatılacak olan SIRTF ve Hubble Uzay Teleskopu, ilkel galaksilerden yayılacak böylesi kızılötesi ışınımı ölçebilecek kadar duyarlı olacaklar. Henüz öneri aşamasında bulunan bir başka kızılötesi teleskop da zayıf kızılötesi ışınımı bileşen dalga boylarına

ayırarak genç galaksilerdeki kimyasal elementleri tanımlayabilecek ölçüde duyarlı olacak. Astronomlar, son derece uzaktaki radyo galaksilerde yıldız oluşumunun ipuçlarını ve yıldız oluşum bölgeleriyle galaksilerin merkezlerinden fışkıran gaz jetleri arasında şaşırtıcı bir ilişkinin kanıtlarını buldular. Yüksek hızlı gaz fışkırmalarının çevredeki gazı sıkıştırması ve böylece yıldız oluşumunu tetiklemesi olası görünüyor.

Kuasarların ve Etkin Galaksilerin Güç Kaynakları

Kuasarlar enerjilerini nereden sağlıyorlar? Aslında ilk radyo galaksilerin keşfedildiği 1950'lerden bu yana bu soru çok parlak bir galaksi türü için sürekli olarak gündemdeydi. Yüksek miktarlarda X-ışınları, kızılötesi ışınım, görünür ışık ve radyo dalgaları yayan bu 'etkin galaksi'lerde enerji, merkezdeki çok küçük bir bölgeden -büyük bir olasılıkla kuasar boyutlarında- kaynaklanıyor gibi görünüyor. Etkin galaksilerin çoğu merkezden dışarı doğru çok büyük miktarlarda gaz püskürtüyorlar.

Bu enerjinin büyük bir bölümünün yıldızlardan gelmediği açıktır. Yıldızlar çoğunlukla görünür ışık yayarlar. Dahası, yıldızlar enerjilerini nükleer tepkimeler sonucu üretirler ki burada maddenin enerjiye dönüştürülme verimliliği yalnızca yüzde 0.5 kadardır. Dolayısıyla nükleer tepkimeler kuasar ve etkin galaksilerin yaydığı devasa enerji miktarlarını açıklamaya yetmez. Son olarak, yıldızlar galaksi içinde dağınık olarak bulunurlar; oysa etkin galaksiler enerjilerini merkezlerindeki çok sıkışık bir bölgede üretmektedirler. Eğer yeterli sayıda yıldız böylesi küçük bir hacme sıkışmış olsalar bile, ortaya çıkacak olan yıldız sistemi öylesine yoğun olacaktır ki sonuçta yıldızlar, aralarındaki çarpışmalar sonucu kaynaşacak ve ortaya çok yoğun ve büyük kütleye sahip bir cisim çıkacaktır.

İşte bu nedenlerden ötürü astronomların çoğunluğu kuasar ve etkin galaksilerin enerjilerini merkezlerindeki cismin serbest bıraktığı kütle çekim enerjisinden sağladıklarını düşünüyorlar. Kütle çekim enerjisi iki cisim arasındaki karşılıklı çekim kuvvetinden kaynaklanır. Büyüklüğü de kütlelerin çarpımıyla doğru, aralarındaki uzaklıkla ters orantılıdır.

Kütle çekimi analitik olarak ilk kez on yedinci yüzyıl ortalarında Isaac Newton tarafından ifade edilmiştir; her ne kadar henüz tümüyle tamamlanmamışsa da en son kütle çekim teorisi Einstein tarafından 1915 yılında geliştirilmiştir. Çekim enerjisi şöyle açığa çıkar: Küçük bir kütle büyük bir kütlenin üzerine düşerken -Dünya üzerine düşen bir Bowling

topu düşünün- hızı gittikçe artar. Bu hız artışı çekim enerjisinin serbest kaldığını gösterir. Bu enerji, ısı ve ışınım gibi başka enerji biçimlerine dönüşebilir. Eğer büyük kütleli cismin aynı zamanda yoğunluğu da yüksekse, düşen cismin hızı çok büyük değerlere ulaşır. Kara delik, işte bu aşırı yoğunlaşmış maddenin bir örneğidir. Kara deliğe doğru düşen bir cisim, deliğe girmeden önce ışık hızına ulaşır. Böyle yüksek hızlarda maddenin enerjiye dönüşüm verimliliği yüzde onlara kadar yükselir, ki bu da kuasar ve etkin galaksilerin ürettiği yüksek enerji miktarlarını açıklamaya yeterlidir.

Son teorilere göre, tüm etkin galaksilerin ve kuasarların merkezinde kütleleri Güneş'imizin kütlesinin bir milyon katından bir milyar katına kadar olduğu tahmin edilen çok büyük kütleli kara delikler bulunuyor. Merkezdeki bu kara deliğin büyük çekim gücü nedeniyle çevredeki gaz ve yıldızlar merkeze doğru çekiliyorlar. Gaz, kara deliğe doğru düşerken açığa çıkan çekim enerjisi yüksek hızlı parçacıklara ve ışınıma dönüşüyor. Enerjinin çok büyük bölümü kara deliğin hemen dışında açığa çıktığından ve kara deliğin boyutları çok küçük olduğundan, büyük kütleli kara delik varsayımı, kuasar ve etkin galaksilerin yaydığı enerjinin neden merkezden kaynaklandığını doğal olarak açıklıyor.

Kara delik kavramı ilk olarak 1783 yılında İngiltere, Yorkshire'daki Thornhill'in rektörü olan John Michell tarafından ortaya atıldı. 1796'da kavram Pierre-Simon Laplace tarafından yeniden keşfedildi. Fikir şu: Kütlesi ve boyutları belirli bir gök cismi verildiğinde, kütlesi daha küçük olan bir başka cismin büyüğünün çekiminden kurtulabilmesi için 'kurtulma hızı' denen kritik bir hıza sahip olması gerekir. Örneğin, Yerküre için kurtulma hızı saniyede 11 kilometre civarındadır. Bu hızdan daha küçük bir hızla Dünya yüzeyinden yukarı doğru fırlatılan hiçbir cisim Dünya'nın çekiminden kurtulamaz; maksimum bir yüksekliğe ulaştıktan sonra gerisin geriye yere düşer. Saniyede 11 kilometreden daha büyük bir hızla yukarı doğru fırlatılan bir cisim Dünya'nın çekiminden kurtularak uzayda hareketini sürdürür, hiçbir zaman geri dönmez. Şimdi Dünya'yı dev bir mengenede sıkıştırarak çapını dörtte birine indirdiğimizi düşünelim. Dünya'nın yüzeyi çekim merkezine daha yakın hale geldiğinden çekim kuvveti daha güçlenmiştir. Kurtulma hızı iki katına, saniyede 22 kilometreye yükselmiştir. Dünya'nın kütlesini aynı tutarak çapını gittikçe küçültmeyi sürdürelim. Çapı her dört kat küçülttüğümüzde kurtulma hızı iki kat artar. Sonuçta, Yerküre'mizin çapı yaklaşık bir buçuk santimetreye

indiğinde kurtulma hızı da saniyede 300000 kilometreye, yani ışık hızına ulaşır. Bu durumda ışık bile Dünya'nın çekiminden kurtulamaz. Dünya, dışarıdan bakıldığında simsiyah görünür. Bir kara delik olmuştur. Bu hayali deneyi ilk kez gerçekleştiren Michell ve Laplace, Newton'un kütle çekim teorisinden ve ilk kez on yedinci yüzyılda ölçülmüş olan ışığın hızından haberdardılar.

Tabii Dünya'yı bir buçuk santimetre çapına kadar küçültebilecek dev bir mengene yoktur. Ama, daha önce gördüğümüz gibi, yıldızlar yakıtlarını tüketip kendi ağırlıklarını taşıyamaz hale geldiklerinde kendilerini çok küçük boyutlara kadar sıkıştırabilirler. 1916 yılında Einstein'ın yeni kütle çekim teorisini kullanan Alman fizikçi Kari Schwarzscild, Michell ve Laplace'ın hesaplarını yeniden gözden geçirdi. Bir kütlenin kara delik haline dönüşmesi için sahip olması gereken kritik yarıçap kütle miktarı ile doğru orantılı olup Güneş'imizin kütlesi için 3.5 km civarındadır. Günümüzde kritik yarıçapa 'Schwarzschild yarıçapı' adı veriliyor.

1939 yılında Amerikalı teorik fizikçi Robert Oppenheimer ve öğrencisi Hartland Snyder büyük kütleli, yanıp tükenmiş bir yıldızın -birkaç Güneş kütlesi ya da daha büyük kütleye sahip bir nötron yıldızı gibi- çökerek bir kara delik oluşturacağını gösterdiler. Bununla birlikte, Oppenheimer'in hesaplarından sonra bile çoğu bilim adamları kara deliklerin yalnızca kağıt üzerinde var olduğuna inanmaya devam ettiler. Daha sonra, 1965 yılında astronomlar büyük olasılıkla kara delik olan bir gök cismi keşfettiler: Dünya'dan yaklaşık 7000 ışık yılı uzakta olan Cygnus (Kuğu) X-l. Ardından gelen birkaç yılda Cygnus X-l'in (X-ışınları yaydığı ve Cygnus takımyıldızında bulunduğu için bu ad verildi) kütlesinin nötron yıldızlarına oranla çok büyük, kendisinin de normal yıldızlara oranla çok küçük olduğu fark edildi. Kabul edilebilecek tek seçenek Cygnus X-l'in bir kara delik olmasıydı. Kütlesinin Güneş'in kütlesinin on katı kadar olduğu hesaplanıyor. 1970'lerin ortalarından günümüze kadar başka pek çok kara delik adayı keşfedilmiştir.

Henüz kara delikler hakkında gözlemsel kanıtların bulunmadığı 1964 yılında, Rus fizikçi Yakov B. Zel'dovich ve ondan bağımsız olarak Amerikalı fizikçi Edwin Salpeter, büyük kütleli kara deliklerin üzerine düşecek olan gazın, etkin galaksiler ve öbür enerjik cisimlerin güç kaynağı olabileceğini ileri sürdüler. Kuasarları ve etkin galaksileri anlamanın püf noktası, merkezdeki kara deliğin, üzerine akan gazla beslenme

mekanizmasının anlaşılmasıdır. Bu gaz akımı sürekli mi yoksa geçici mi? Akımı tetikleyen nedir? Olası gaz kaynakları, galaksinin merkezi çevresinde bulunan gaz, kara deliğin fazlaca yakınına gelen talihsiz yıldızların güçlü çekim alanı tarafından parçalanması, yıldızların kendi aralarında çarpışarak ufalanmaları veya galaksinin bir başka galaksiyle fazla yakınlaşması sonucu ortaya çıkan çalkantı olabilir. Düşük parlaklıktaki kuasarlar ve yüksek parlaklıktaki etkin galaksilerde merkezdeki kara deliğin üzerine akan gazın kütlesi, yılda bir Güneş kütlesi civarında olmalıdır. Bazı kara delikler, doğrudan çevreden üzerlerine akan gazın çekim enerjisi yerine dönmelerindeki yavaşlamadan ötürü enerji yayabilirler. Ama bu bile dönen kara deliğin çevresinde sürtünme yaratarak onu yavaşlatacak bir gaz kütlesinin varlığını gerektirir. Ne kadar büyük kütleli olurlarsa olsunlar, çevrelerinden soyutlanmış kara delikler çok az enerji üretirler. Bu nedenle bazı galaksilerin neden diğerlerinden enerjik olduğunu anlamak için merkezdeki kara deliğin çevresindeki madde dağılımını bilmenin çok büyük önemi vardır.

Büyük kütleli kara delik varsayımını nasıl sınayabiliriz? Güneş'imizin bir milyar katı kadar kütleye sahip olsa bile, büyük kütleli bir kara deliğin çapının altı buçuk milyar kilometre civarında olması gerekir. *En yakın* büyük galaksinin uzaklığı olan 2 milyon ışık yılı uzaktaki böyle bir kara deliğin açısal çapı bir derecenin yalnızca iki yüz milyarda biri olur ki bu büyüklükte bir cismi en büyük teleskoplarla bile görmek mümkün değildir. Bununla birlikte, büyük kütleli bir kara delik, çevredeki yıldızların hareketlerini ve konumlarını etkileyerek kendini ele verebilir. Kara deliğin çekim alanına yakalanmış olan yıldızlar daha küçük bir alana sıkışır ve daha hızlı hareket etmeye başlarlar. Bu etkiler kara delikten birkaç ışık yılı uzaklığa kadar fark edilir boyutlarda olabilir. Hubble Uzay Teleskopu ve büyük olasılıkla 1990'lar için planlanan sekiz metrelik ve on metrelik teleskoplar yakın galaksilerdeki bu türden etkileri farkedebileceklerdir. Yıldızların merkez bölgelerde yoğunlaşmaları olgusunun ipuçları şimdiden başta Andromeda olmak üzere birçok yakın galakside bulundu. Ama 10 milyon ışık yılından da ötede bulunan galaksilerin merkez bölgeleri yeni teleskoplarla bile görülemeyecek kadar küçük kalacaklar. Her ne kadar yıldızların çoğunluğu radyo dalgaları yaymasa da şu anda radyo teleskopların açısal çözümleme gücü görünür ışık teleskoplarına oranla bin kat fazla; bu nedenle de daha küçük ayrıntıları görebiliyorlar. Radyo teleskoplar milyarlarca ışık yılı uzaktaki etkin galaksilerin ve kuasarların

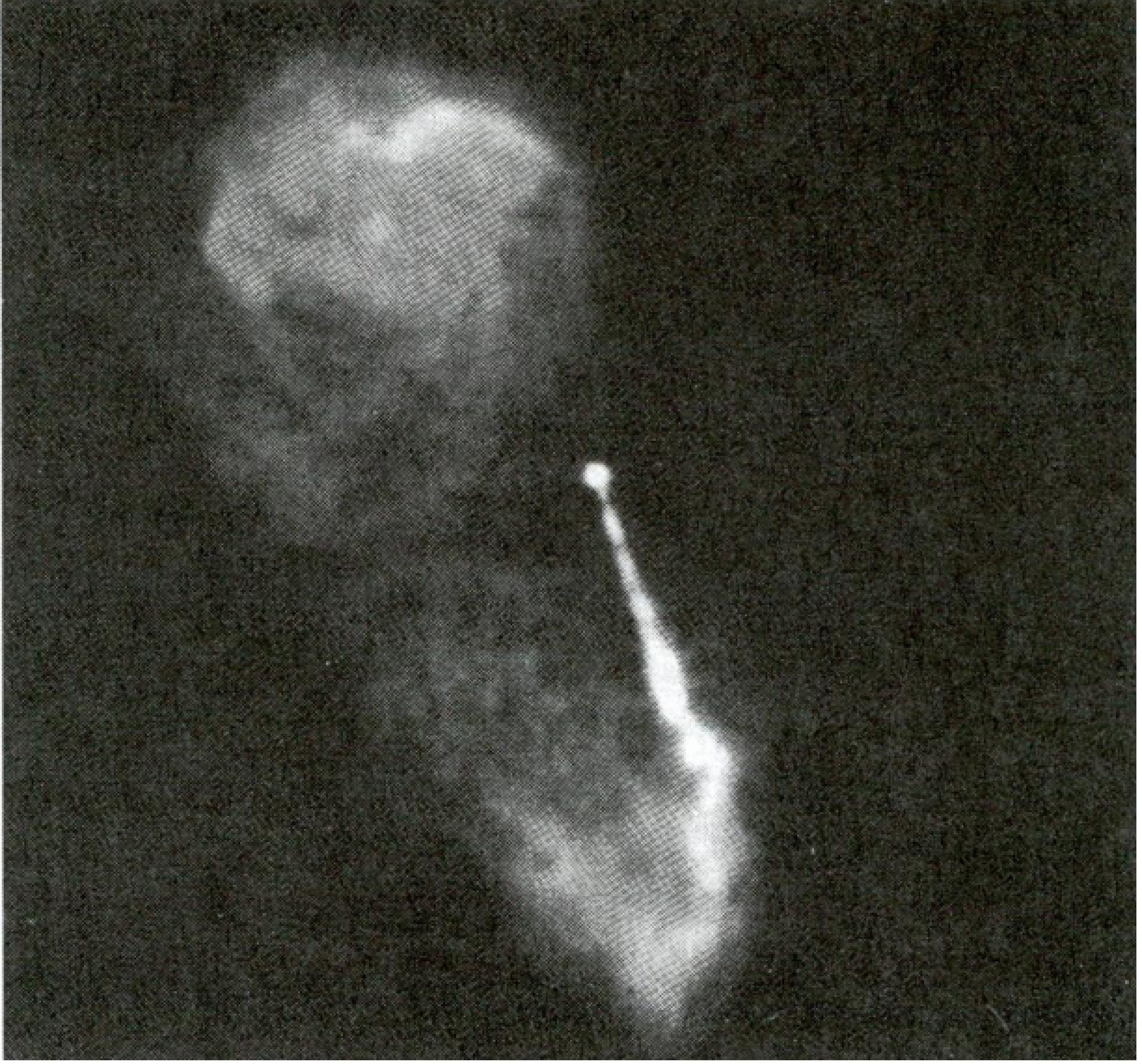
merkezlerinin birkaç ışık yılı kadar yakınına nüfuz edebilirler. Eğer büyük kütleli bir kara delik radyo bandında parmak izleri bırakmışsa, 1990'lar için planlanan VLBA gibi yüksek açısal çözümleme gücüne sahip radyo teleskoplar tarafından görülmesi gerekir.



Şekil 15a. *500 ışık yılı uzaktaki M87 galaksisinin (aynı zamanda Virgo A olarak da bilinir) görünür ışıkla çekilmiş fotoğrafı. Galaksinin merkezinden çıkan sönük, damlalara benzeyen çizgiye dikkat ediniz.*

Kara delikleri tanımanın dolaylı bir başka yolu ise çevredeki gazın yaydığı yüksek enerjili ışınımdır. Teorik astrofizikçiler çevredeki gazın yassı bir disk oluşturarak kara deliğin etrafında yörüngeye gireceğini düşünüyorlar. Bu diskin gezegen sistemleri oluşturan disklerden faklı yönü, daha büyük kütleli ve daha sıcak olması. Diskte bulunan gaz 1 milyon- 1

milyar dereceye kadar ısınarak çoğunlukla X-ışınları yayar. AXAF aracının görevlerinden biri de bu tür X-ışınlarının araştırılmasıdır.



Şekil 15b. *M87 galaksisinin radyo dalgalarıyla çekilmiş fotoğrafı. Bir önceki şekilde sönük olarak görünen çizgi, burada açık olarak bir gaz fışkırması biçiminde görülüyor. Fışkırmanın boyu, yaklaşık olarak 5000 ışık yılıdır.*

Böylesine yüksek enerjilerin bir başka karakteristik özelliği de elektronların ve onların karşı-parçacığı olan pozitronların üretilmesidir (Her atom-altı parçacığın, çoğu özelliği parçacıkla aynı, kimi özellikleri ise tam karşıtı olan ve karşı-parçacık adı verilen bir ikizi vardır. Örneğin pozitron her bakımdan elektronun aynı olup yalnızca taşıdığı elektrik yükü terstir). Üretildikten çok kısa bir zaman sonra parçacık ve karşı-parçacıklar gamma ışınları yayarak yok olurlar. GRO ve önerilen diğer gamma-ışın detektörleri

bu tür gamma ışınlarını araştıracaklardır. Etkin galaksi ve kuasarlarca yayılan X-ışınlarının, astronomları yirmi beş yıldır düşündüren gizemi, 'X-ışın fonu'nu açıklaması akla yakın bir olasılıktır. Astronomlar X-ışın detektörleri kullanarak uzaya baktıklarında her yönde yoğun bir kozmik X-ışın sisi görüyorlar. X-ışın fonunun kaynağı konusunda henüz bir görüş birliği yok. Önerilen açıklamalar arasında evreni doldurduğu düşünülen sıcak gaz var. Bazı bilim adamları bu kozmik X-ışını sisinin, tek tek ışınım kaynağı olarak algılanamayacak kadar uzak ve çok sayıdaki etkin galaksi ve kuasarların ışınımlarından oluştuğunu düşünüyorlar. Bu problemin çözümü, uzaydaki etkin galaksi ve kuasar sayısı ve dağılımı ile birlikte bunların zaman içindeki evrimlerinin de bilinmesini gerektiriyor. AXAF aracında X-ışın fonunun tek tek kaynaklardan oluştuğu yönündeki varsayımın sınanmasını sağlayabilecek kadar duyarlı ve açısal çözümleme gücü yüksek olan detektörler bulunuyor.

Etkin galaksi ve kuasarların çarpıcı davranışları başka soruları da akla getiriyor. Bu cisimlerden gözlenen yüksek hızlı gaz fışkırmalarından bazıları çok ince biçimli bir görünüme sahip. Böylesi madde sütunlarını üreten ve onları kontrol eden şey nedir? Son yıllarda bu sorunun yanıtlanabilmesi yolunda epeyce gelişme kaydedildi. Bu gaz sütunları görünür ışık, X-ışınları ve radyo dalgaları yayıyorlar. Optik teleskoplar, radyo teleskoplar ve 1980'lerde veri toplayan Einstein X-ışın uydusu tarafından alınan görüntüler, gaz sütunlarındaki topaklanmaları ve diğer yapılanmaları son derece ayrıntılı, enfes bir biçimde gözler önüne serdi. Özellikle yüksek açısal çözümleme güçlü radyo gözlemleri, bu gaz sütunlarına her yıl yeni maddenin katıldığını gösterdi. Dışarıya doğru hareket eden gaz kabarcıkları sönükleşiyor. Bu gaz kabarcıklarının teşbih taneleri gibi birbirlerini mi izlediklerini yoksa bağımsız mı hareket ettiklerini bilmiyoruz. Daha ayrıntılı radyo dalgaları ölçümleri gaz sütunu boyunca güçlü manyetik alanlar bulunduğu yönünde kanıtlar olduğunu gösterdi. Aslında bazı teorisyenler manyetik kuvvetlerin akan gazı kuşatarak sıkıştırdığını ve ince bir kolon haline gelmesini sağladığını öne sürüyorlar. Hawaii'den Karaibler'e kadar Amerika Birleşik Devletleri boyunca konumlandırılmış ve tek bir dev teleskop gibi çalışan on radyo teleskoptan oluşması planlanan VLBA, çok sayıda etkin galaksiden fışkıran gaz sütunlarındaki ayrıntılı yapılanmanın ve manyetik alanların sistematik bir biçimde incelenmesine olanak verecektir. Dünya çevresinde yörüngede dolanan, her biri Dünya ile bağlantılı olup birlikte Dünya'dan daha büyük

bir radyo anteni oluşturması planlanan bir grup radyo detektöründen oluşan OVLBI (Orbiting Very Long Baseline Interferometer) ile, elde edilen açısal çözümleme gücü daha da büyüyecektir. Amerikalı bilim adamlarının katkılarıyla yapılan OVLBI uydularından ilk ikisi önümüzdeki yıllarda Japonya ve Rusya tarafından fırlatılacaktır.

Galaksilerdeki gaz fışkırmalarının anlaşılmasında önümüzdeki yıllarda sürdürülecek olan teorik çalışmaların da yaşamsal önemi bulunuyor. 1980'lerde bu fışkırmaların bazı özellikleri bilgisayar simülasyonları kullanılarak yeniden oluşturulmuştu. Bu simülasyonlarda bilim adamları gaz, ışınım ve manyetik alanların davranışları ile ilgili fizik yasalarını bilgisayara yükler ve madde ile ışınımın bir arada bulunduğu bir 'ilk durum' kurarlar. Sistemin zaman içinde nasıl evrim geçireceğini ise bilgisayar hesaplar. Gözlemlerle karşılaştırılarak teori daha da geliştirilir.

Galaksilerin Oluşumu

Daha uzaktan gelen ışıklar daha eski zamanlarda yayınlanmış demektir. Eğer uzayın derinliklerine doğru yeterince uzağa bakarsak, galaksilerin oluştuğu çok eski zamanlara kadar geriye gidebiliriz. Henüz oluşmuş ya da oluşmakta olan galaksiler konusunda çok az şey biliyoruz.

Galaksilerin oluşumu konusunda hesaplamalara dayanan ilk teori 1928 yılında Sir James Jeans tarafından ortaya atılmıştır. Bu teoriye göre evrendeki tüm madde, tıpkı düz bir çöldeki kumlar gibi düzgün bir biçimde dağılmıştır. Bununla birlikte, çöl tabanında şurada burada birazcık daha fazla kütle içeren kum tepecikleri bulunur. Jeans, tepecikleri öngörürken bunların varlığının daha sonra bir başka teoriyle açıklanabileceğini düşünmüştü. Fazladan madde bulunan her tepecikte kütle çekimi ortalamadan yüksek olacağından çevredeki maddeyi çeker. Bu çekim sonucunda madde miktarı artar, tepeciğin boyutları büyür, çevredeki maddeyi daha büyük bir kuvvetle çeker ve süreç ivmelenerek devam eder. Sonuçta tepecikler büyük tepelere dönüşür. Bu büyük tepeler galaksilerdir. Galaksiler arasında çok az miktarda madde kalmış olmalıdır.

Tıpkı tek tek yıldızlarda olduğu gibi galaksileri oluşturacak dev gaz bulutları da, ancak kütleleri çok büyük olduğundan içeriye doğru etkiyen kütle çekim kuvvetlerinin dışarıya doğru etkiyen basıncı yenebildiği durumlarda çöker. Yıldızlarda olduğu gibi galaksilerin oluşumu da ışınımdan ve tüm kütlenin dönmesinden etkilenir. Her durumda önce küçük

tepeler çöküp yoğunlaşarak galaksileri, daha sonra daha büyükleri yoğunlaşarak galaksi küme ve gruplarını oluşturur. Bu süreç gittikçe daha büyük yapılar oluşturarak sürüp gider. Bu galaksi oluşum modeline ‘kütle çekim hiyerarşi modeli’ adı verilir. Bu model temel olarak 1960 ve 1970’lerde Princeton Üniversitesi’nden teorisyen James Peebles tarafından geliştirilmiştir.

1960’ların sonlarında ve 1970’lerin başlarında Sovyet astrofizikçiler Yakov B. Zel’dovich, A.G. Doroskevich ve çalışma arkadaşları pancake modeli adı ile anılan bir başka galaksi oluşum modeli önerdiler.[1] Bu modele göre ışınım kuvveti başlangıçtaki kütle tepeciklerini dağıtır. Başlangıçtaki kozmik çölün düzlüğü kütleleri en azından bir galaksi kütlesinin 1000 katı kadar olan daha büyük tepeler tarafından bozulur. Böyle tepeler de kütle çekim hiyerarşi modelinde de olduğu gibi çöl tabanından yalnızca hafifçe yükselir. Bu büyük kütle birikimleri, sıcaklıklarını uzaya yayarak çökmeye başlarken kaçınılmaz olarak eksenlerden biri boyunca daha hızlı çökeceğinden gaz yassı ‘pancake’ biçimini alır. Büyük kütleli bu pancake daha sonra birçok parçaya bölünür ve her parçasından bir galaksi oluşur. Bu galaksi oluşum modeline göre, ana pacake’in bulunduğu bölgelerde galaksilerin ince bir tabaka üzerinde dağılmış olarak bulunmaları gerekir.

Teorisyenler bu modellerden hangisinin doğru olduğunu tartışıyorlar. Sorular, kısmen evrenin ilk dönemdeki madde tepeciklerine neyin sebep olduğu, bu tepeciklerin aralarında büyük uzaklıklar bulunsa bile birbirlerine bağlı olup olmadıkları ve o zamanlarda hangi tür atom-altı parçacıkların bulunduğu konularında yoğunlaşıyor. Başka faktörler de var, doğal olarak. Her iki teoride de galaksilerin oluşumu konusunda temel rolü evrensel çekim kuvveti oynuyor. Başlarını Princeton’dan Jeremiah Ostriker ve Hawaii Üniversitesi’nden Lennox Cowie’nin çektiği bir grup astronom da evrenin ilk dönemlerindeki madde tepecikleri yerine asıl etkenin gaz basınç kuvvetleri olabileceğini öne sürüyorlar. Gaz basınç kuvvetleri ve ışınımın, bir galaksiden diğerine fazla değişmeyen boyut ve kütlelerin belirlenmesinde bir rolü olması akla yakın görünüyor. Son yıllarda Ostriker ve çalışma arkadaşları, teorik modellerin sonuçlarını incelemek amacıyla, gaz basınç kuvvetlerini de içeren ayrıntılı bilgisayar simülasyonları yaptılar. Öyle görünüyor ki kütle çekimi, gaz basıncı ve galaksi-öncesi gaz bulutunun dönmesi galaksi oluşumunda tek tek etkili.

Gözlemsel açıdan astronomlar birçok ipucu araştırıyorlar. Acaba şu an varolan galaksiler, kütle çekim hiyerarşi modelinin öngördüğü gibi gittikçe büyüyen rastgele şekillenmiş grupların içinde mi yoksa pancake modelinin öngördüğü gibi belli boyutlarda ve düzlemler üzerinde mi yer alıyorlar? Aslında pancake modeli, her biri bir galaksi kütlesinin bin katı kütle içeren galaksi-öncesi pancake biçiminde gaz bulutları öngörüyor. Bunların 10 milyar ışık yılı öteden görünmesi gerekir. Galaksilerin olası doğum yeri olan böylesi dev yapılar çoğunlukla hidrojenden oluşmakta ve 21 cm dalgaboyunda radyo dalgaları yaymaktadırlar. Bu radyo dalgaları, VLA, yeni Green Bank Teleskopu ve güncelleştirilmiş Arecibo Teleskopu ile araştırılacaktır.

Gündemde daha da önemli konular var. Hem kütle çekim hiyerarşi teorisinde hem de pancake teorisinde, başlangıçtaki minik yoğunluk farklarının üzerine kütle çekim kuvvetinin etkisi sonucunda büyük madde yoğunlaşmaları oluşur. Ne kadar küçük olursa olsun, başlangıçta bir yoğunluk farkı gereklidir. Bu yoğunluk farklılaşmalarını nasıl saptayabiliriz? Büyük bir olasılıkla yanıt kozmik fon ışınımında gizlidir. 1965 yılında New Jersey’deki Bell Telefon Labo-ratuvarı’nda çalışmakta olan Arno Penzias ve Robert Wilson, tüm uzayı dolduran ve adına kozmik fon ışınımı denen radyo dalgalarını keşfettiler. Bu ışınımın, evrenin yalnızca 300000 yaşında olduğu günlerden beri uzayda özgürce dolaştığı düşünülüyor. Daha önceleri ışınım, evrene saçılmış bulunan atom-altı elektronlarla etkileşiyordu. Kozmik fon ışınımında, galaksilerin oluşmasından önce, evrenin 300000 yaşında olduğu son etkileşim sırasındaki madde dağılımının kayıtları bulunmalıdır. O zamanlar madde düzgün bir biçimde dağıldığından bu maddeye çarparak saçılan kozmik fon ışınımı da her yöne eşit ve düzgün bir biçimde dağılmış olmalıdır. Tersine, eğer o zamanlar madde dağılımı düzgün değilse, kozmik fon ışınımının da düzgün olmaması gerekir. Madde dağılımının düzgün olmaması, bugün radyo teleskoplar değişik yönlere döndürüldüğünde radyo dalgaları şiddetinin değişmesi sonucunu doğuracaktır. Aslında bütün galaksi oluşum teorileri bu tür değişimlere gereksinim duyuyor.

On yıllarca süren araştırma sonunda nihayet yüz binde bir düzeyinde de olsa bu değişimler bulundu. Bu çok önemli keşif, kozmik fon ışınımını büyük bir duyarlılıkla ölçmek amacıyla 1989 yılında fırlatılan Kozmik Fon Kaşifi (Cosmic Background Explorer, COBE) uydusu tarafından 1992 yılında gerçekleştirildi. Bu sonuçlar, galaksi oluşumu ve büyük ölçekli

kozmik yapıya ilişkin teorileri bir anlamda sınırlayıcı bir rol oynayacaktır. İlk olarak bu sonuçlar bize, üzerine etkiyen kütle çekim kuvvetleri sonucunda galaksi ve galaksi kümelerini oluşturan minik madde yoğunlaşmalarının boyutları konusunda bilgi verecektir. İkincisi, bu ilkel yoğunlaşmaların boyutlarını açıklayabilmemize olanak verecektir. Şu anda hiçbir galaksi oluşumu veya ilkel evren teorisi COBE'nin bulgularını doyurucu bir biçimde açıklayamamaktadır. Önümüzdeki birkaç yıl içinde, gözlemsel sonuçlarla karşılaştırılacak ölçüde ayrıntılı birçok yeni teori adayı geliştirilmesi bekleniyor. Bu, kuşkusuz kozmoloji teorisi için heyecen verici bir zaman dilimi olacaktır.

Son olarak galaksilerarası ortam adı verilen galaksiler arasındaki gazda da galaksi oluşumuna ilişkin oldukça önemli ipuçları vardır. Galaksilerin içinde bulunan yıldızlararası ortamda olduğu gibi bu gaz da yıldızlar tarafından üretilen çeşitli kimyasal elementlerce zenginleşmiştir. Çok uzaklardaki -dolayısıyla çok eski zamanlardaki- galaksilerarası ortam, galaksilerin oluştuğu ortamdır. Galaksilerarası ortam araştırmalarının en önemli araçlarından biri de kuasarların yaydığı ışınımın incelenmesidir. Işınım oradan buraya gelirken galaksilerarası ortamdan geçer ve bu arada bir bölümü de soğurulur. Soğurulan dalga boyları ortamdaki gazın kimyasal yapısına ilişkin bilgiler verir. Galaksilerarası gazın kimyasal yapısı zamanla nasıl değişmektedir? Başka bir deyişle, Dünya'dan olan uzaklıkla nasıl değişmektedir? Bu gaz, galaksilerin ilk kez oluştuğu dönemi tarihlendirmek amacıyla kullanılabilir mi? Uzaklardaki galaksilerarası ortamın incelenmesi için hem yüksek duyarlılık hem de yüksek tayfsal çözümleme gücü gereklidir. Bunlar, şu anda çalışmakta olan 4 metrelik teleskopların yeteneklerinin ötesinde ama gelecek on yıllardaki çok daha büyük teleskopların yetenek sınırları içinde olacak.

Garth Illingworth, 17 Mart 1947'de Avustralya'nın Perth kentinde doğdu. 1968 yılında Batı Avustralya Üniversitesi fizik bölümünü bitirdikten sonra, 1973 yılında Avustralya Ulusal Üniversitesi'nden astronomi dalında Ph. D. derecesini aldı. Doktora sonrası çalışmalardan sonra Illingworth, 1978-1983 yılları arasında Tucson, Arizona'daki Kitt Peak Ulusal Gözlemevi'nde astronom olarak çalıştı. 1984'ten 1987'ye kadar hem Johns Hopkins Üniversitesi'nde araştırmacı, hem de Baltimore'da bulunan Uzay Teleskopu Bilim Enstitüsü'nde direktör yardımcısı olarak görev yaptı. 1988 yılında Santa Cruz'daki Kaliforniya Üniversitesi'nde astronomi profesörü



oldu. Illingworth'un araştırmaları, galaksilerin oluşumu ve evrimini anlayabilmek amacına yönelik olarak, yıldız kümeleri ve galaksilerin gözlemleri konusunda yoğunlaşmıştır. Keck Teleskobu'nda da çalışan Illingworth, Hubble Uzay Teleskobu'nun ardından gelecek olan büyük uzay teleskobunun yapımı için de çalışmalar başlatmıştır. Illingworth şöyle demektedir: "Astronom olmanın en keyifli ve ödüllendirici yanı, kendini araştırmaya adamış olan bireylerin ve küçük ekiplerin, astronominin önde gelen problemlerinin çözümünde büyük ilerleme kaydedebilmesidir. Bu problemlerin anlaşılması en zor olanlarından biri, Samanyolu'muz gibi galaksilerin ne zaman ve nasıl oluştuğu, zamanla nasıl değiştiğidir. Galaksilerin, evrenin gençlik günlerinde, o zamanlar uzayı dolduran seyrek gaz ve karanlık maddeden yoğunlaşarak bugün gözlediğimiz büyük kütleli cisimlere dönüştüğünü biliyoruz. Ama bunun nasıl ve tam olarak ne zaman gerçekleştiğini bilmiyoruz. 1990'ların yeni, güçlü teleskop ve bilgisayarlarının, evrenin gençliğini gözlerimizin önüne sereceğini umuyorum."

1

Pancake, yuvarlak ve yassı biçimli bir kek türüdür. (ç.n.)

Evrenin Yaşam Tarihi

Büyük Patlama (Big Bang) Modeli

Uzayın git gide daha derinlerine baktığımızda, acaba uzayın sonuna ya da zamanın başlangıcına ulaşabilir miyiz? Evrenin bir başlangıcı varsa, acaba nasıldı? Sonu olacak mı? Tüm bunlar, kozmolojiyi, bir bütün olarak evrenin yapısı ve evrimini inceleyen astronomi dalını ilgilendiren sorulardır.

Her kültür, kendine özgü bir kozmoloji icat etmiştir. Aristoteles'in evreninde üzerine yıldızların tutturulmuş olduğu büyük, kristal bir küre olarak düşünülen uzayın kenarları vardı. Ama bu evrenin ne başlangıcı, ne de sonu vardı. Yani durağandı. *Gökyüzüne İlişkin* adlı eserinde Aristoteles şöyle demektedir: "En temel cisim, sonsuzdur; büyümez, küçülmez, yaşlanmaz, değişmez ve hareket ettirilemez". Aristoteles, tanrısal ve ölümsüz olan evrenin, temel cisim olan 'ether'den oluşması gerektiğini düşünüyordu. Hıristiyan dünya görüşü sonsuzluk kavramından vazgeçmekle birlikte evrenin değişmez olduğu fikrine sahip çıktı ve sürdürdü. Bu geleneğe göre evren, Tanrı tarafından yoktan var edilmiş ve o günden bu yana hiç değişmemiştir. 1543 yılında Dünya'nın evrenin merkezi olmayıp yalnızca Güneş çevresinde dönen bir gezegen olduğunu gösteren Copernicus çok şeyi değiştirmekle birlikte, evrenin uzaysal olarak sınırlı, zamansal olarak ise sonsuz olduğu yolundaki Aristoteles inanışını değiştiremedi.

1576 yılında, Copernicus öğretisine inanan bir İngiliz olan Thomas Digges, yıldızları, üzerinde bulundukları kristal küreden koparıp uzaya dağıtan ilk astronom oldu. 1546 yılında doğan ve matematik eğitimi gören Digges, Copernicus'un büyük eseri *The Revolutionibus*'un bazı bölümlerini İngilizce'ye çevirerek yayınladı. *A Perfit Description of the Caelestiall Orbes* başlığıyla yayınladığı bu çeviriye Digges, yıldızların dağılımı, özellikle de uzayın sonsuz olduğu ve yıldızların bu sonsuz uzayda dağılmış

olarak bulundukları yönündeki kendi görüşlerinin anlatıldığı bir bölüm ekledi(Digges aynı zamanda daha uygulamalı olan başka konularla da ilgileniyordu. Top mermilerinin yörüngeleri üzerine ilk ciddi çalışmaları yapan Digges, İngiltere'de balistiğin babası sayılır).

Digges'ten sonra evrenin uzayda sonsuz olduğu kabul edilmiştir. Bununla birlikte insanlar hâlâ evrenin zaman içinde değişmez olduğunu düşünüyorlardı. Büyük fizikçi Isaac Newton aynı problemi yüz yıl kadar sonra yeniden ele aldı. Tek tek gezegenlerin hareket halinde oldukları kesindi ama çok büyük zaman aralıklarıyla bile bakılsa evrenin değişmez olduğu düşünülüyordu.

Newton, büyük ölçekte evreni tanımlayan asıl kuvvetin evrensel kütle çekim kuvveti olduğunu anladı. Bunun ötesinde, kütle çekim teorisi ile Newton, evrenin bir bütün olarak hesaplamalara dayanan modelini yapan ilk insan oldu. Bununla birlikte 1917'deki Albert Einstein'ın modeline kadar böyle bir modelden söz edilmemişti. Einstein da Newton gibi genel görelilik adı verilen kütle çekim teorisini yeni geliştirmişti. Newton gibi Einstein da kozmolojideki temel kuvvetin kütle çekim kuvveti olduğuna inanıyordu.

Genel görelilik, madde ve enerjinin kütle çekimini nasıl ürettiğini, buna karşılık madde ve enerjinin kütle çekimine nasıl tepki verdiğini anlatan oldukça karmaşık ve matemetiksel bir teoridir. Bir bütün olarak evren teorisiyle ilgili zor denklemleri çözebilmek amacıyla Einstein, iki basitleştirici varsayım yapmıştı: Evren zamanla değişmez ve madde evrende düzgün bir biçimde dağılmıştır. Her ne kadar Einstein'ın başlangıç varsayımları ile ilgili gözlemsel hiçbir kanıt yoksa da, Einstein bu varsayımların tatminkar sonuçlar verecek ölçüde gerçeğe yakın olduklarına inanıyordu. Einstein'in sonuçtaki 'kozmoloji modeli' durağan ve homojendi.

Çok geçmeden, başka kozmoloji modellerinin de olası olduğu ortaya çıktı. 1922 yılında Alexander Friedmann, zamanla değişen evreni tanımlayan bir kozmoloji modeli olan *durağan olmayan* evren modelini ortaya attı. Bir Rus matematikçi ve meteorolog olan Friedmann, işe Einstein'in çekim teorisi ile başladı ama homojenlik varsayımını kabul ederken durağanlık varsayımını sorgulamaya açtı. Hollandalı astronom Wilhelm de Sitter'in de dediği gibi, ne kadar büyük bir teleskopla bakarsak bakalım evreni görüşümüz bir fotoğraf karesinden başka bir şey değildir,

dolayısıyla da evrenin uzun dönemli davranışları konusunda çok az fikir verir. Friedmann, genel görelilik denklemlerinin başka çözümünü buldu. Bu çözüme göre evren, yoğunluğu son derece yüksek bir durumdan başlayarak zaman içinde genişliyordu.

Friedmann'ın kozmoloji modeline göre ilk patlamadan sonra genişlemeye başlayan evren gittikçe daha dağınık bir duruma geliyordu. Bu kozmoloji modeline 'büyük patlama' modeli adı verildi. 1923 yılında Friedmann'ın evrimleşen modelinin eleştirisinde Einstein, Friedmann'ın hesaplamalarının matematiksel geçerliliğini kabul etmekle birlikte, bunların gerçek evrene uygulanabileceğinden kuşkuda olduğunu bildirdi. Teorik fizikte, başlangıç koşullarına bağlı olarak bir denklem setine birden fazla çözüm bulunması oldukça sık rastlanan bir şeydir; bu nedenle Aristoteles, Copernicus ve Newton gibi Einstein da evrenin durağan olduğuna inanmaya devam etti. Bununla birlikte ne Friedmann'ın ne de Einstein'ın başlangıç varsayımları ampirik olarak sınanabilirdi. O zamanlar her iki görüş doğrultusunda da deneysel kanıt hemen hemen yok gibiydi. Einstein ve Friedmann, evren teorilerini kağıt üzerinde üretmişlerdir.

1929 yılında durum kökten değişti. O yıl, teleskopla gözlem yapan Amerikalı astronom Edwin Hubble, evrenin genişlemekte olduğunu keşfetti. Galaksiler sürekli olarak birbirlerinden uzaklaşıyorlardı.

Gerçekte Hubble teleskopla baktığında galaksilerin birbirlerinden uzaklaştığını görmedi; böyle hareketleri doğrudan görmek için milyonlarca yıl gerekir. Hubble, Doppler kaymalarına bakarak galaksilerin hareket ettiği sonucuna vardı: Galaksilerin renkleri tayfın kırmızı ucuna doğru kayıyordu. 'Kırmızıya kayma' olarak bilinen bu kayma, uzaklaşma hareketinin bir sonucudur. Bütün galaksiler Samanyolu'ndan uzaklaşıyordu. Aslında birçok kozmik bulutsunun kırmızıya kaymaları 1900'lerde Arizona'daki Lowell Gözlemevi'nde çalışan Vesto Slipher tarafından ölçülmüştü. Hubble'ın Slipher'in çalışmasına eklediği tek şey, Cepheid yıldızlarını kullanarak uzaklaşan galaksilerin *uzaklıklarını* saptamak oldu. Hubble, galaksilerin uzaklıklarının, uzaklaşma hızıyla doğru orantılı olduğunu keşfetti. Başka bir deyişle, bir galaksinin bize olan uzaklığı bir başka galaksinin iki katıysa, uzaklaşma hızı da iki katı oluyordu. Bu sonuç, her yönde düzgün olarak genişleyen bir evren için beklenen bir sonuçtu.

Hubble'ın gözlemleri bir yandan çok açık bir biçimde Fiedmann'ın durağan olmayan modelinin Einstein'ın durağan modeline göre üstünlüğünü

ortaya çıkarırken, öte yandan da Hubble'ın gözlemleri görünüşe göre her iki bilim adamının da öne sürdüğü temel varsayımı doğruluyordu: Evren hemen hemen homojendir. Yalnızca evren eğer homojense galaksilerin uzaklaşma hızları uzaklıkları ile doğru orantılı olabilir. Dahası, homojen evren her noktanın diğer noktalardan farklı olmadığı anlamına gelir. Nasıl şişen bir balonun, balon *yüzeyinde* bir genişleme merkezi yoksa, evren de genişliyor olmasına karşın bir genişleme merkezi yoktur. Bir balonun yüzeyine her biri bir galaksiyi temsil eden noktalar koyduğumuzu düşünelim. Balon şişerken *herhangi bir* noktadan bakıldığında diğer noktaların uzaklaştığı görülecektir. Hiçbir nokta merkez değildir.

Eğer galaksilerin uzaklaşma hızları uzaklıkları ile doğru orantılıysa, bütün galaksiler için hızın uzaklığa oranı sabit olmalıdır. Hubble sabiti adı verilen bu oran evrenin şu andaki genişleme hızını vermektedir. En duyarlı ölçümlere göre şu andaki genişleme hızı ile evrenin boyutları yaklaşık 10 milyar yıl içinde iki katına çıkacaktır. Daha kesin konuşmak gerekirse, birbirlerinden uzakta bulunan iki galaksinin aralarındaki uzaklık, yaklaşık 10 milyar yıl sonra iki katına çıkacaktır.

Zaman geçtikçe galaksiler birbirlerinden uzaklaşıyorlar. Dolayısıyla geçmişte birbirlerine daha yakın olmaları gerekiyor. Eğer evren filmini geriye doğru oynattığımızı düşünürsek, galaksiler gittikçe birbirlerine yaklaşarak kalabalıklaşacaklar. Geçmişte öyle bir an olacak ki evrendeki bütün madde, yoğunluğu sonsuz olan bir noktaya sıkışmış durumda bulunacak. Astronomlar bu durumun gerçekleşmiş olduğu zamanı hesaplayabiliyorlar: Günümüzden 10-20 milyar yıl önce. Bu ana 'büyük patlama' adı veriliyor. Büyük patlamadan önce ne olduğu, halen teorik fizikçiler arasında yoğun tartışma konusu.

1930'larda, astronomlar evrenin yaşını ilk kez hesapladıklarında, bunu Dünya'mızın yaşıyla karşılaştırmışlardı. Daha önce söz edildiği gibi, 1910'larda başlayan uranyum filizinin radyoaktif tarihlendirme çalışmalarına göre Dünya'nın yaşı yaklaşık olarak 4.5 milyar yıldır. Dünya'nın ve Güneş'in oluşumu ile ilgili tüm teoriler, Dünya'nın yaşının, evrenin yaşının yüzde onu ile yüzde doksanı arasında bir yerlerde olması gerektiğini belirtiyorlar. Başka bir deyişle, Yeryüzündeki kayaların yaşlarını saptayan bilim adamları, evrenin yaşının 5.5 milyar ile 50 milyar yıl arasında olması gerektiğini söylüyorlar. Galaksilerin hareketlerini gözleyen başka bilim adamları da evrenin yaşını 10-20 milyar yıl arasında buluyorlar.

Bu ikisi biribirinden çok farklı ölçümler. Bulunan yaş aralıklarının kesişmesi ise büyük patlama modeli lehinde çok kuvvetli bir kanıt. Bununla birlikte şurasını da unutmamak gerekir ki kozmoloji, astronominin tüm dalları, hatta bütün bilimler, uzay ve zamanın en uç kesişmelerini gerektirirler. Her ne kadar çok geniş kesimlerce tutulduysa da büyük patlama modeli henüz çok az sayıda gözlemsel testlerden geçmiş durumdadır.

Dünya'nın yaşıyla karşılaştırma testinden sonraki iki önemli test, evrenin kimyasal yapısı-yüzde 74 hidrojen, yüzde 24 helyum, yüzde 2 ağır elementler-ve kozmik fon ışınımı adı verilen ve tüm uzayı kaplayan düzgün radyo dalgalarıdır.

Büyük patlama modeline göre hem evrenin temel kimyasal yapısı, hem de kozmik fon ışınımı evrenin bugünkünden çok farklı olduğu uzun zaman önce biçimlenmiştir. Eğer kozmik evrim filmimizi gene geriye doğru oynatırsak, evren büzülür, galaksiler gittikçe birbirlerine yaklaşırlar ve sonunda yıldızlar ve galaksiler kendilerine özgü kimliklerini yitirirler. Evrendeki madde, bir gazı andırmaya başlar. Evren gittikçe büzülerek yoğunlaştıkça kozmik gazın sıcaklığı da gittikçe artmaya başlar. Sıcaklık 10000 santigrat dereceye ulaştığında, elektronlar atomlarından kaçıp kurtulmaya başlar. Daha yüksek sıcaklıklarda ise atom çekirdekleri proton ve nötronlara ayrışır. Evrenin doğum anı olan büyük patlama yaklaştıkça, sıcaklık artmaya devam eder. Sıcaklık 10 trilyon dereceye ulaştığında proton ve elektronlar kuark adı verilen üç temel parçacığa bölünürler.

Şimdi başlangıçtan itibaren zaman içinde ileriye doğru gittiğimizi düşünelim. Büyük patlamadan yaklaşık 0.00001 saniye sonra kuarklar birleşerek proton ve nötronları oluşturdular. En basit ve hafif kimyasal element olan hidrojenin çekirdeğinde yalnızca bir proton bulunur. Bu süre içerisinde başka hiçbir kimyasal elementin bulunabilmesi mümkün değildir. Diğer tüm kimyasal elementler iki veya daha fazla atom-altı parçacığın bir araya gelip kaynaşmasıyla ortaya çıkar ki evrenin başlangıç aşamasındaki yoğun sıcaklık koşullarında böyle kaynaşmalar gerçekleşemezdi. Evren genişledikçe soğudu. Başlangıçtan birkaç dakika sonra sıcaklık milyar derece mertebesine düştü. Bu kritik sıcaklıklarda proton ve nötronlar, aralarındaki nükleer kuvvetler nedeniyle birleşmeye başladılar. Teorisyenlerin 1960'lar ve 1970'lerde yaptıkları hesaplara göre, döteryum, helyum ve lityum bu sırada oluşmuş olmalılar. Bu tür ilk hesaplar 1964

yılında Cambridge Üniversitesi'nden Fred Hoyle ve Roger Tayler ile Moskova Kozmik Araştırma Enstitüsü'nden Yakov B. Zel'dovich tarafından yapıldı. Princeton'dan James Peebles, Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'nden Robert Wagoner ve arkadaşları ile Chicago Üniversitesi'nden David Schramm ve arkadaşları da daha ileri düzeyde hesaplar yaptılar. Bu teorik hesapların sonuçları, gözlemsel olarak saptanan hidrojen, helyum, lityum ve döteryum miktarları ile dikkat çekici bir uyum içindedir (Karbon, oksijen, ve demir gibi tüm diğer elementler çok daha sonraları, yıldızlar tarafından üretilmişlerdir). Bu uyum büyük patlama modelini destekleyen bir başka kanıttır.

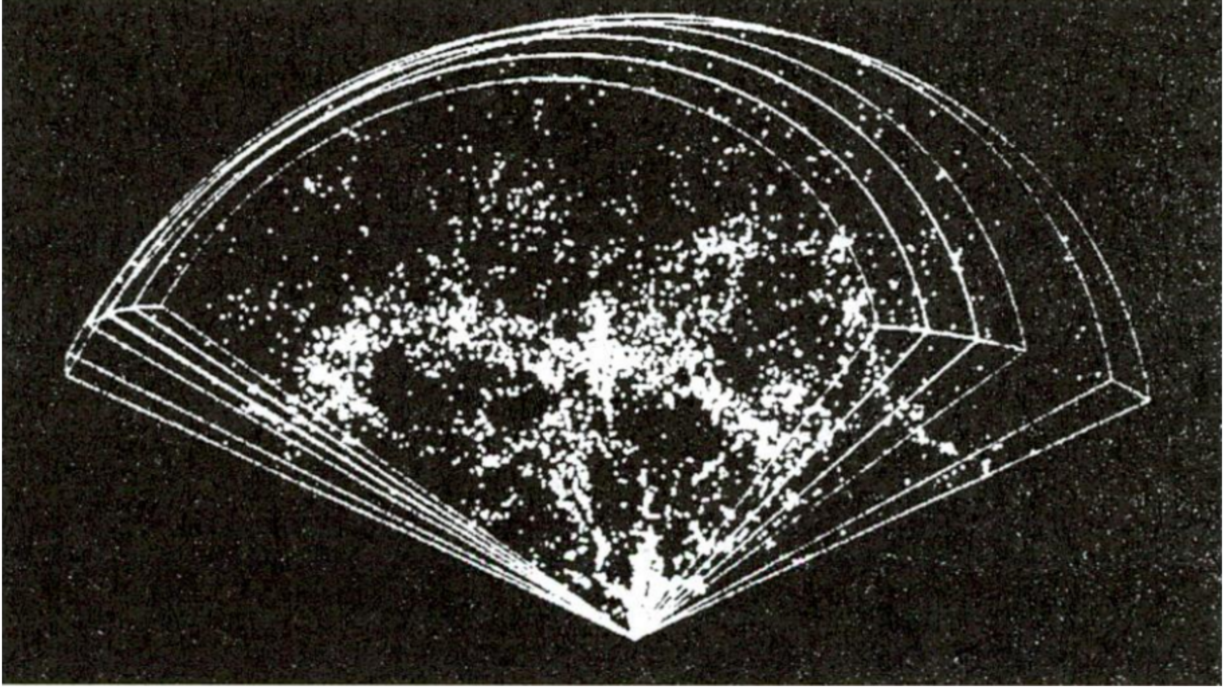
Yeni doğmuş ve dolayısıyla çok sıcak olan evren, kozmik fon ışınımını da üretmiş olmalıdır. 1948 yılında ilk kez George Washington Üniversitesi'nden Ralph Alpher, George Gamow ve Robert Herman tarafından yapılan ve 1965 yılında bağımsız olarak Princeton'dan Robert Dicke ve James Peebles tarafından tekrarlanan teorik hesaplar, büyük patlamanın üzerinden henüz yalnızca birkaç saniye geçtiği sıralarda uzayda kara cisim ışınımı adı verilen özel bir cins ışınımın üretilmiş olması gerektiğini gösterdi. Kara cisim ışınımı, ışınımın sıcaklığına karşılık gelen tek bir parametre tarafından belirlenir. Teorik olarak kara cisim ışınımı evrenin ilk anlarında, uzayda düzgün olarak üretilmiş ve evren 300000 yıl yaşına gelip de atom çekirdekleri bir araya gelerek atomları oluşturuncaya kadar atom-altı parçacıklar tarafından saçılmaya devam etmiş olmalıdır. Zaten bu noktadan sonra, maddeyle hiç etkileşmeyen ışınım uzayda yayılmasını sürdürmüştür. Evren genişledikçe ışınımın dalgaboyu büyümüş ve günümüzde ışınımın dalgaboyu radyo dalgalarına karşılık gelen bir değere, sıcaklığı da mutlak sıfırın üzerinde yaklaşık 3 dereceye kadar düşmüştür. Bir önceki bölümde söz edildiği gibi, bu ışınım bir rastlantı sonucu 1965 yılında keşfedilmişti. Son yıllarda veri toplayan COBE uydusu, kozmik fon ışınımının özelliklerinin büyük patlama teorisinin öngördüğü özellikler olduğunu doğruladığından, bu teoriyi destekleyen bir kanıt daha elde edilmiş oldu.

Evrenin Büyük Ölçekli Yapısı

Büyük patlama modeli evrenin homojen olduğunu varsayar. Bu varsayım tam olarak doğru olmayabilir. Homojen bir evrende yıldız, galaksi ve galaksi kümeleri gibi madde topaklanmalarının bulunmaması gerekir.

Bununla birlikte böylesi topaklanmalar yalnızca evrene küçük ölçekte bakıldığında önemli gibi görünüyor olabilir. Nasıl bir kumsala çok yakından bakarken kum tanelerini seçebiliyor, yirmi otuz metre yukarıdan baktığımızda ise onu pürüzsüz görüyorsak, evren de çok büyük hacimlere bakıldığında pürüzsüz görünüyor olabilir. Asıl sorulması gereken soru, kumsala ne kadar uzaktan bakmamız gerektiği sorusudur. Eğer evrenin pürüzsüz göründüğü bir ölçek yoksa, büyük patlama modelinin önünde ciddi sorunlar var demektir.

Galaksi zincirlerinin, büyük sayıda galaksi içeren yüzeylerin ve hemen hemen hiç galaksi içermeyen büyük boşlukların keşfedildiği son yıllarda bu keşifler, evrenin büyük ölçekte homojen olmayabileceğinin temel kanıtları olarak kabul edildiler. Böyle büyük galaksi gruplarına 'yapı' adı veriliyor. Eğer evren tümüyle homojen olsaydı hiçbir şekilde bu tür yapılanmalar göstermemesi gerekirdi. 1989 yılında Harvard-Smithsonian Astrofizik Merkezi'nden Margaret Geller ve John Huchra o güne kadar bilinen en büyük galaksi yapılanmasını keşfettiler. Bu, uzunluğu en azından 500 milyon ışık yılı olan ve galaksilerden oluşan bir 'duvar'dı. Geller ve Huchra, büyük galaksi gruplarının üç boyutlu haritalarını çıkarmışlardı. Daha doğrusu her galaksinin iki boyutlu konumu ile birlikte kırmızıya kayma miktarını da saptamışlardı. Kırmızıya kaymanın galaksilerin uzaklaşma hızlarının bir ölçüsü olduğunu hatırlayalım. Eğer evrenin homojen olduğunu ve düzgün bir biçimde genişlediğini varsayarsak -ki o zaman galaksilerin uzaklıkları ve uzaklaşma hızları arasındaki ilişkiyi veren Hubble yasasını kullanabiliriz- kırmızıya kayma miktarlarını bildiğimiz galaksilerin uzaklıklarını da bildiğimizi kabul edebiliriz. Böylece, her üç boyut da bilindiğinden üç boyutlu (3-D) haritalar hazırlanabilir (Kabaca, bir galaksinin uzaklığı, 10 milyar ışık yılı ile gözlenen ışınımın kırmızıya kayma yüzdesinin çarpımıyla bulunabilir. Örneğin dalgaboyundaki yüzde onluk bir artış 1 milyar ışık yılına karşılık gelir).



Şekil 16. *Astrofizik Merkezinden Margaret Geller ve John Huchra'nın 1989 yılında tamamlanan kırmızıya kayma araştırması. Her nokta bir galaksiyi gösteriyor; burada, birbirine dokunan kama biçimindeki uzay bölgelerinde 3962 galaksi yer alıyor. Yarıçap yönü, homojen bir evrende doğrudan yarıçap yönündeki hıza karşılık gelen uzaklaşma hızını gösteriyor. Şekildeki en uzak galaksinin uzaklığı 500 milyon ışık yılıdır. Şeklin ortasında, hemen hemen yatay bir biçimde uzanan galaksi topluluğu, şu ana kadar evrende gözlenen en büyük ve tutarlı galaksi yapılanması olan 'Büyük Duvar'dır.*

Rastgele seçilmiş birkaç uzay bölgesindeki yapılanmaların bölgelere mi özgü yoksa evrenin tümünü temsil edebilecek yapılanmalar mı olduğu henüz bilinmiyor. Bununla birlikte şimdiye kadar hemen hemen her ölçekte böylesi yapılanmaların olduğu gözlenmiş durumda. 50 milyon ışık yılını kapsayan bir araştırmada genellikle boyları yaklaşık 50 milyon ışık yılı olan galaksi zincirleri, galaksilerin oluşturduğu yüzeyler ve boşluklar; 500 milyon ışık yılını kapsayan bir araştırmada ise boyutları 500 milyon ışık yılı civarında olan yapılanmalar bulunuyor. Bazı astronomlar evrende her boyutta kozmik yapılanmaların olduğunu savunuyorlar.

İngiltere'de Durham Üniversitesi'nden T. J. Broadhurst ve R. S. Ellis, Kaliforniya'daki Lick Gözlemevi'nden David C. Koo, Chicago Üniversitesi'nden Richard Kron ve Johns Hopkins Üniversitesi'nden Alex S. Szalay'ın araştırmaları sonucunda gittikçe daha büyük boyutlarda kozmik yapılanmalar ortaya çıkarıldı. 'Işın demeti' araştırmaları adı verilen bu araştırmalarda, uzayda yalnızca bir çizgi boyunca yer alan galaksilerin kırmızıya kayma miktarları ölçülür. Bu çizgi çok uzaklara, on milyarlarca

ışık yılı uzaklara gider. Bu araştırmalar galaksilerin her 400 milyon ışık yılında kümelenmeler gösterdiğini ortaya koyuyor. Daha büyük ölçeklerde ise yapılanma gözlenmiyor. Eğer böyleyse, en büyük ve tutarlı kozmik yapılanmaların boyutları 400 milyon ışık yılı civarındadır ki bu da 'Büyük Duvar' olarak adlandırılan yapılanmanın boyudur. Dolayısıyla, daha büyük ölçeklerde bakıldığında evren homojen olarak gözükecektir. Bu varsayımları desteklemek veya çürütmek için daha fazla gözlemsel çalışmaya ihtiyaç vardır.

Birkaç milyar ışık yılı uzaklıklara kadar giden çok daha kapsamlı galaksi araştırmaları şu anda geliştirilme aşamasındadır. Buna ek olarak daha birçok galaksi araştırması planlanıyor. Günümüze kadar yapılan en büyük galaksi kırmızıya kayma araştırmaları birkaç bin galaksiyi içermekteydi. Princeton Üniversitesi, ileri Araştırmalar Enstitüsü ve Chicago Üniversitesi'nden bir grup astronomun oluşturduğu bir ekip, önümüzdeki on yılda, yaklaşık *bir milyon* galaksinin konumlarını ve kırmızıya kayma miktarlarını ölçmeye yönelik ve tümüyle bilgisayar kontrolünde olan bir araştırma başlatmaya hazırlanıyorlar. Ekip, bu amaçla Princeton'dan James Gunn tarafından tasarlanan ve New Mexico'daki Sacramento dağlarına kurulması planlanan 2.5 metre çapında geniş açılı bir teleskop kullanacak. Böyle bir araştırma, yalnızca bu iş için ayrılan ve aynı anda birçok galaksinin ışınımını kaydedebilecek fiber optik araçlarla donatılacak olan orta boy optik bir teleskopla gerçekleştirilebilir.

Radyo teleskopların, özellikle güncelleştirilmiş Arecibo Teleskopu ve Green Bank Teleskopunun kullanılacağı galaksi kırmızıya kayma araştırmaları da planlanıyor. Daha önce söz edildiği gibi, galaksilerdeki hidrojen gazı atomları belli bir dalgaboyunda radyo dalgaları yayarlar ve bu ışınımın dalgaboyundaki artış (kırmızıya kayma), büyük sayıda galaksi için çok duyarlı bir biçimde ölçülebilir.

Ne kadar homojen olmayan galaksi grupları bulunmuş olursa olsun, kozmik fon ışınımının çok büyük ölçüde düzgün olması, evrenin 10 milyar ışık yılı ölçeğinde homojen *olması gerektiği* anlamına geliyor. Eğer şimdiye kadar bulunmuş olanlardan birkaç kat daha büyük yapılanmalar bulunursa bu, evrenin homojen bir yapıda olmadığı anlamına gelecek. Yüzleştirme zamanı yaklaşıyor. Eğer böyle yapılanmalar varsa, önümüzdeki on yıl içinde bulunması hemen hemen kesin gibi.

Evrenin homojen olup olmadığı başka yollarla da araştırılabilir. Düzgün bir biçimde genişleyen bir evrende her galaksinin uzaklaşma hızı, uzaklığıyla orantılıdır. Yapı maddesi homojen olmayan bir evrende bu ilişki bozulur. Bu durumda, galaksilerin hareketi hissettikleri çekim kuvveti tarafından değiştirilir. 'Özel hızlar' adı verilen bu değişik hareketler kütlenin homojen olup olmadığını saptamak amacıyla kullanılabilir. 1987 yılında David Burstein, Roger Davies, Alan Dressler, Sandra Faber, Donald Lynden-Bell, R. J. Terlevich ve Gary Wegner 200 milyon ışık yılı uzaklıkta, sanki büyük bir kütle tarafından çekiliyormuşçasına özel hızlara sahip olan bir grup galaksi buldular. Bu kütleye 'Büyük Çekici' adı verildi. Başka galaksi gruplarında da özel hızlar saptandı.

Gözlenen özel hızların tümüyle gözlenen homojenlik bozuklukları ile açıklanabilip açıklanamayacak henüz belli değil- Açıklanamıyorsa, o zaman ya galaksileri normal yollarından ayrılmaya zorlayan galaksilerarası *topaklanmış* durumda karanlık madde var ya da bu hareketlerde kütle çekimi dışında başka kuvvetler de rol oynuyor demektir. Astronomlar bu iki şıktan da pek hoşlanmıyorlar. Yakın bir gelecekte de yaklaşık 300 milyon ışık yılı uzaklığa kadar 15000 galaksinin kırmızıya kayma miktarlarını hesaplayabileceklerini düşünüyorlar.

Kozmik uzaklıkların birbirinden bağımsız yollarla ölçülmesinin bu çalışmalar ve büyük-ölçekli yapıların araştırılmasında yaşamsal önemi vardır. Uzaklığın kırmızıya kayma miktarıyla orantılı olduğu varsayılamaz, çünkü böyle bir varsayım henüz sınanma aşamasında olan homojenlik varsayımının kabul edilmesi demektir. Son yıllarda, kendi galaksimizden başlamak üzere uzaydaki çok büyük uzaklıkların ölçülmesi amacıyla yeni yöntemler geliştirildi. Radyo teleskopların, hareket halinde olan cisimlerin konumlarını ve konumlarındaki değişiklikleri ölçmekteki duyarlılıkları, galaksimizin merkezine uzaklığı ve diğer galaksilere olan uzaklıklarını oldukça duyarlı biçimde ölçülebilmesini sağladı. Astronomlar, sonunda uzaya optik interferometre adı verilen ve konumdaki değişiklikleri *bir derecenin üç milyarda biri* gibi olağanüstü bir duyarlılıkla ölçebilecek olan özel bir teleskop türü yerleştirebileceklerini düşünüyorlar. Bir derecenin üç milyarda biri, Ay yüzeyinde bulunan bir metal paranın görüldüğü açı anlamına geliyor. Bu olağanüstü duyarlılık sayesinde, Dünya'mız Güneş çevresindeki yörüngesinde hareket ederken gözlenen konum kaymalarının ölçülmesi sonucu, galaksimizdeki tüm Cepheid yıldızlarının uzaklıkları

büyük bir kesinlikle saptanabilir. Cepheid yıldızlarının kesin uzaklıklarının bilinmesi çok önemlidir.

Ne yazık ki 30 milyon ışık yılından daha ötedeki yıldızlar gözlenemediğinden, Cepheid yıldızları çoğu galaksinin uzaklığının belirlenmesi amacıyla kullanılamaz. Bununla birlikte, başka kilometre taşları bulunmuştur. Örneğin 1970'lerin ortalarında, Lick Gözlemevi'nden Sandra Faber, Uzay Teleskopu Bilim Enstitüsü'nden Robert E. Jackson ile onlardan bağımsız olarak çalışan Hawaii Üniversitesi'nden R. Brent Tully ve Ulusal Radyo Astronomi Gözlemevi'nden J. Richard Fischer, ışıma güçleri ve uzaklıkları bilinmekte olan yakın galaksileri kullanarak, galaksilerin ışıma güçleri ile içindeki yıldızların hızları arasında ampirik bir bağıntı buldular. Bu bağıntı, bir kez yakındaki galaksilerde doğru sonuç verecek biçimde ayarlandıktan sonra, yalnızca yıldız hızlarının ölçülebildiği (renklerdeki Doppler kaymasından) uzak galaksiler için uygulanabilir. Sonra, tıpkı Cepheid yıldızlarında olduğu gibi, hesaplanan ışıma gücünden ve gözlenen parlaklıktan uzaklık saptanır. Bu yöntemin sorunu, uzayda büyük uzaklıklara bakmanın zamanda geriye bakmakla eşdeğer olmasıdır. Işıma gücü-yıldız hızı bağıntısının ayarlanmasında kullanılan yakın galaksiler, bu bağıntının uygulandığı uzak galaksilere göre oldukça yaşlıdırlar. Bu nedenle, galaksilerin ışıma gücü ve içlerindeki yıldızların hareketleri gibi özelliklerin zamanla nasıl evrim geçirdiğinin bilinmesi yaşamsal bir önem taşır.

Kozmik uzaklıkların ölçülmesi amacıyla Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nden John Tonry tarafından geliştirilen yeni ve umut veren bir yöntem, bir teleskopla tarandığında galakside görülen yıldız sayısının değişmesine dayanır. Bu yöntemi açıklayıcı bir örnek verelim. Yere gelişigüzel bir biçimde dağılmış olan bilyaları saymakta olduğunuzu düşünün. Bilyalar rastgele dağılmış olduklarından, bir desimetre karedeki bilya sayısı bir yerden diğerine farklılıklar gösterecektir. Yerin her metre karesindeki bilya sayıları da farklı olacaktır ama her metre karedeki bilya sayısı da fazla olduğundan, *kesirsel* değişim küçük olacaktır. Benzer biçimde soru sorulan kişi sayısı arttıkça kamuoyu yoklamalarındaki kesirsel (yüzde) hata payı azalır. Şimdi bilyaları yıldızlarla değiştirelim. *Yakın* bir galaksiye bakan bir teleskopun görüş alanı içine galaksinin daha küçük bir parçası girer. Bu nedenle galaksinin değişik bölgelerini taradıkça teleskopun yıldız sayısında veya ışık şiddetinde kaydettiği değişiklikler oransal olarak büyük olacaktır. Tersine, *uzak* bir galaksiye yöneltilmiş bir teleskop

galaksinin değişik bölgelerini tararken ışık şiddetinde daha küçük oransal değişimler kaydedecektir. Işık şiddetinin bölgeden bölgeye değişimi bir kez uzaklığı bilinen, yakın bir galakside doğru sonuç verecek biçimde ayarlandı mı, bu yöntem çok uzaklardaki galaksilerin uzaklıklarını ölçmek için kullanılabilir.

Teorik tarafta, astronomlar büyük bilgisayar simülasyonları kullanarak galaksilerin gözlenen konum ve hareketlerini yorumlamaya çalışıyorlar. Böyle simülasyonlar, her biri bir galaksi parçasını veya birkaç galaksiyi temsil eden 10000 ile 10 milyon arasında parçacığı kapsar. Parçacıklar başlangıçtaki yerlerine konur ve karşılıklı çekim kuvvetleri aracılığıyla etkileşmeye bırakılırlar. Parçacıkların bilgisayar saati ile yüz saat sonra ekrandaki konumları, galaksilerin gerçek zamanda 10 milyar yıl sonraki konum ve hareketlerini temsil eder.

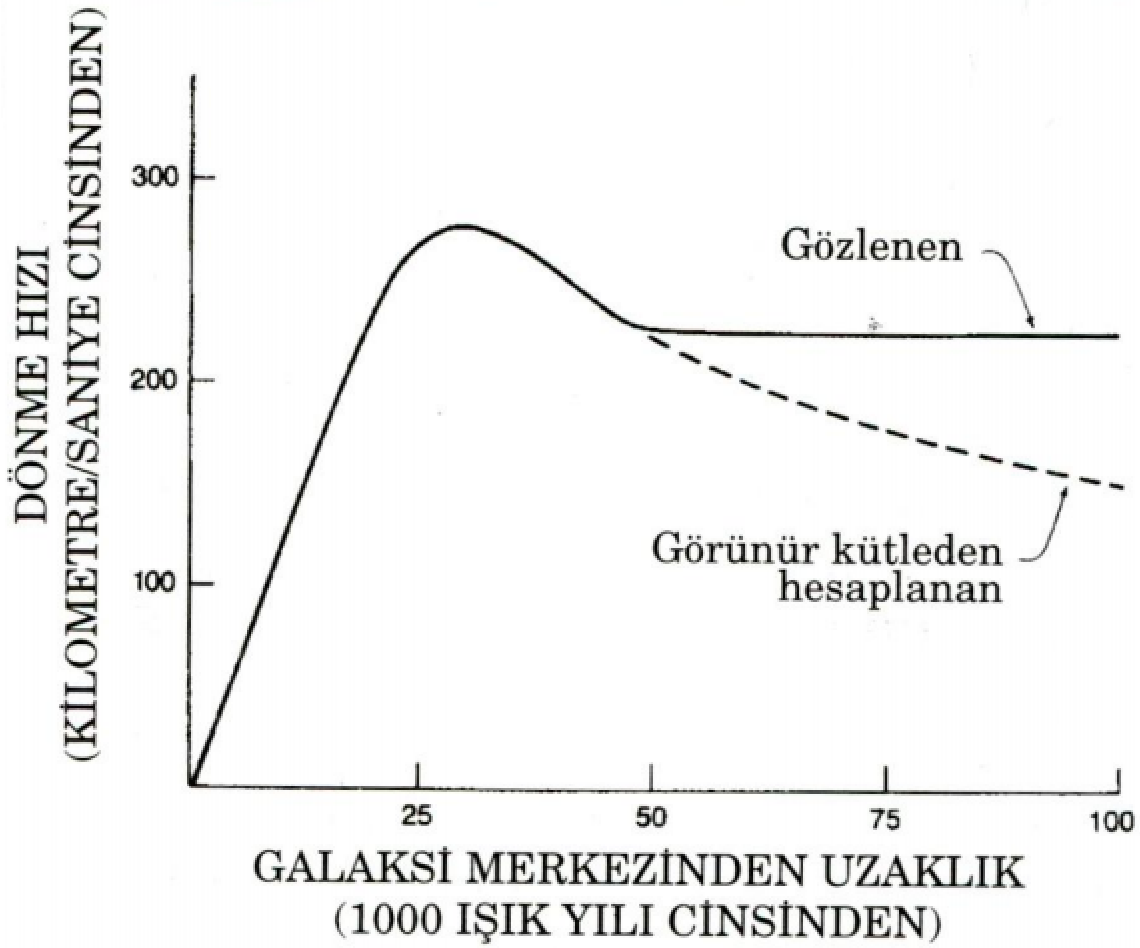
Bilim adamları, bilgisayar simülasyonları ile evrenin gözlenen büyük-ölçekli yapısını karşılaştırarak, evrendeki ilkel koşullar ve kuvvetler konusundaki varsayımlarını sınayabileceklerini umuyorlar. Her ne kadar on yıl öncekilerden on kat büyük olsa da bilgisayar simülasyonları henüz teori ve gözlem arasında sağlıklı bir karşılaştırma yapabilmek için gerekli parçacık sayılarını içermiyorlar. Gelecek on yılda daha büyük bilgisayarlar ve geliştirilecek yeni yöntemler yardımıyla daha güvenilir yanıtlar elde edilecektir. Bilgisayarlar daha fazla fizik kullanılarak programlanacağından, simülasyon sonuçları daha gerçekçi ve inanılır olacaktır. Daha önce söz edildiği gibi, astronomlar uzun yıllar boyu galaksilerin ve diğer büyük-ölçekli yapıların oluşmasında asıl etkenin kütle çekim kuvveti olduğunu düşünmüşlerdi. 1989'dan bu yana ise bilgisayar simülasyonlarında gaz basıncı gibi kütle çekimi ile ilişkisi bulunmayan başka kuvvetler de göz önüne alınıyor.

Bilgisayar simülasyonlarının sonuçları ne olursa olsun, evrendeki maddenin dağılımı teorisinin son şekli gözlenen kozmik fon ışınımı ile tutarlı olmalıdır. Şu anda gözlenen galaksi zincir ve duvarlarını oluşturmak için madde, geçmişte ne kadar topaklanmış durumda bulunmalıydı ki hâlâ gözlenen kozmik fon ışınımının milyonda bir topaklı yapısını versin? Kozmoloji alanında çalışan astronomlardan kendi alanlarının büyük problemlerini sıralamaları istendiğinde, büyük-ölçekli yapı öne çıkıyor.

Karanlık Madde

1970’lerin sonlarına doğru astronomlar evrendeki kütlenin en azından yüzde doksan kadarının görünmez olduğunu fark ettiler. Bu görünmez madde, gördüğümüz yıldız ve galaksilere yaptığı çekimsel etkiler yoluyla fark edilebilir ama kendisi elektromanyetik ışınımın hiçbir türünü yaymaz - ne görünür ışık, ne radyo dalgaları, ne kızılötesi, ne morötesi, ne X-ışınları, ne gamma ışınları- hiçbir şey. Gerçekten görünmezdir. Adına karanlık madde diyoruz. Karanlık maddenin varlığı, evrenin büyük-ölçekli yapısı konusundaki anlayışımızı kesinlikle daha karmaşık bir hale getiriyor.

Karanlık maddenin bulunabileceği olasılığı ilk olarak 1933’de Fritz Zwicky tarafından ortaya atılmıştır. Zwicky, birbiri çevresinde dönen bir grup galaksi gözlemiş ve grubu dağılmadan bir arada tutabilecek kütle çekim kuvvetini hesaplamıştı. Bu kütle çekim kuvvetinden ve grubun boyutlarından grubun içerdiği kütleyi hesaplayan Zwicky, bu kütlenin, görülen yıldız ve gazların oluşturabileceğinin yirmi katı olduğunu buldu. O zamanlar Zwicky’nin eksantrik bir kişiliği olduğu ve bulduğu sonucun mantığa aykırı olduğu düşünülüyordu. Kırk yıldan daha uzun zaman boyunca, astronomların çoğunluğu, karanlık maddenin bulunabileceği olasılığını hep gözardı etmeye çalıştılar. Sonunda, 1970’lerde astronomlar galaksilerdeki yıldız ve gazların yörünge hareketlerini yeniden gözlemeye başladılar.



Şekil 17. *Andromeda Galaksisi'ndeki hidrojen moleküllerinin yörünge hızlarının galaksi merkezinden olan uzaklıkla değişimi. Her konumdaki yörünge hızı, o konumdan merkeze daha yakın konumlarda ne kadar kütle olduğunu anlatır. Eğer galakside yalnızca görünür kütle olsaydı, yörünge hızlarının galaksi merkezinden yaklaşık otuz bin ışık yılı uzaklığa kadar azalması gerekirdi. Şekilde ise, yörünge hızlarının elli bin ışık yılından sonra artık azalmadığı, hemen hemen sabitleştiği görülüyor. Buradan karanlık maddenin bulunduğu sonucu çıkıyor. Şekil, Vera Rubin, W. K. Ford ve Morton Roberts tarafından elde edilen gözlemsel verilerden uyarlanmıştır.*

Dünya'yı karanlık maddenin varlığına inandıran gözlemler arasında, Vera Rubin ve arkadaşları tarafından yapılan gözlemler önemli bir yer tutar. Andromeda ve başka galaksilerin çekirdekleri çevresinde dönen gazların hızını ölçen Rubin, bu hızlardan, galaksinin sahip olması gereken maddeyi hesapladı.

O zamanlar, 1970'lerde, gök cisimlerine ait pek çok görüntü, günümüzde olduğu gibi sayısal detektörlerde değil, hâlâ fotoğraf plaklarında saklanıyordu. Sonuçta Rubin, gözlemevine her zaman fotoğraf plaklarını hazırlamak amacıyla gözlem gününden tam bir gün önce gelmek zorunda kalıyordu. En uzak galaksilerden gelen ışığı ölçtüğünden, fotoğraf plakları

süper-duyarlı olmak zorundaydı. Rubin, mutlak karanlıkta camı iki inç-karelik iki parçaya ayırıyor, ve duyarlılıklarını arttırmak için saatlerce kuru azot ortamında ısıtıyordu. Tek bir toz taneciği bile plakları, dolayısıyla da yaptığı işi berbat edebilirdi. Üç saatlik poz sürelerinden sonra Rubin, plakları banyo ediyor, kurutuyor ve bir mikroskop altına yerleştirerek tayf çizgilerinin yerlerini santimetrenin beş binde birinden daha iyi bir duyarlılıkla ölçmeye başlıyordu. Bugün, elektronik detektörler ve bilgisayar analizi yardımıyla tüm bu işlemler otomatik olarak yapılabilir.

Tüm kariyeri boyunca Rubin, akla uygunluk sınırlarını zorlayan bir dizi projeye öncülük etmiştir. Alay edercesine hep tartışmalı konuları seçmiştir. Amerikan Astronomi Derneği'nin 1950 yılında Philadelphia'daki bir toplantısında Rubin, büyük bir galaksi kümesinin birlikte döndüğünü kanıtlayan on dakikalık bir bildiri sundu. Bu, galaksilerin büyük-ölçekli, özel hızları olduğunu gösteren ilk çalışmaydı ve bu düşünce o zamana kadar hiç de popüler değildi. O zamanlar henüz yirmi iki yaşında olan Rubin, toplantı sırasında aynı zamanda yeni doğmuş olan bebeğine de bakıyordu.



James Peebles, 25 Nisan 1935'te Manitoba'nın Winnipeg kentinde doğdu. Amerika Birleşik Devletleri'nde çalışıyor olmasına karşın bir Kanada vatandaşıdır. 1958 yılında Manitoba Üniversitesi'nden mezun olan Peebles, 1962 yılında Princeton Üniversitesi'nden fizik dalında Ph. D. derecesini aldı. Bütün mesleki kariyerini, şu anda da Albert Einstein Bilim Profesörü olarak görev yaptığı Princeton Üniversitesi'nde yapmıştır. Peebles bir teorisyendir. Ana ilgi alanı kozmolojidir. 1965 yılında, Robert Dicke ve diğerleri ile birlikte kozmik fon ışınımının varlığını ortaya attı. Ertesi yıl, Peebles ilk kez evrenin ilk dönemlerindeki nükleer tepkimeler sonucu beklenen kozmik helyum bolluğunun ayrıntılı hesaplarını yaptı. 1965 yılında, genişleyen evrende maddenin kütle çekiminden dolayı topaklanması ile ilgili hesaplamalara öncülük eden Peebles, evrenin büyük-ölçekli yapısına ilişkin 'çekimsel hiyerarşi'

modellerinin önde gelen teorisyenlerinden oldu. Birçok fizikçi, Peebles'in 1971 yılında basılan Fiziksel Kozmoloji kitabından sonra kozmoloji ile ilgilenmeye başladı.

Peebles şöyle demektedir: "Bilimde araştırma büyük sorularca yönlendirilir ama çalışmanın çoğu ayrıntılara, çözümleri bilgimizi çok az arttıran küçük bilmecelerin çözümüne gider. İşte 1990'larda benim tartışılacağını umduğum soruların listesi: Galaksilerin ve galaksi kümelerinin çevresindeki karanlık maddenin doğası nedir? Eğer evrenin kütlesi kozmik genişlemeyi durduracak ölçüde büyükse bu kütle ne kadardır ve nerede gizlidir? Uzayın geometrisi nedir? Kapalı mı, düz mü yoksa açık mıdır? Galaksiler nasıl oluşmuştur? Galaksiler neden gruplar ve kümeler oluşturma eğilimi gösteriyorlar? Parçacıklar ve manyetik alanlar gibi sıradan şeylerin kökeni nedir? Evrenin başlangıcına ilişkin şişen evren modelinin sınanabilmesi için evrenin ilk anlarına gitmenin bir yolunu bulabilecek miyiz? Değişik modeller bulabilecek miyiz?"

Vera Rubin 1928 yılında doğdu ve Washigton D.C. bölgesinde büyüdü. On yaşında, yatak odasının penceresinden görünen yıldızların hareketlerini gece boyunca izlediğini anlatıyor. Rubin, 1948'de Vassar'dan mezun oldu, 1951'de Cornell'den master ve 1954'de Georgetown Üniversitesinden Ph. D. derecelerini aldı. Doktora çalışması, galaksilerin kümelenmeleri ile ilgili ilk çalışmalardan biridir. Rubin, 1978 yılında karanlık madde konusundaki ilk ipuçlarını bulduğunda hiç kimsenin verilerden kuşkulanmadığını -galaksilerin merkezlerinden farklı uzaklıklardaki gazların hızı- ama herkesin bu verilerin karanlık madde varsayımına gerek olmadan yorumlanabilmesini istediğini söylüyor.

Karanlık madde nedir? Var olduğunu biliyoruz ama ne olduğu konusunda çok az fikrimiz var. Karanlık madde uzaya dağılmış durumdaki gezegenler veya çok sönük yıldızlar olabilir. Karanlık madde, engin bir atom-altı parçacıklar denizi olabilir. Her ne ise, karanlık madde evrendeki maddenin çoğunluğunu oluşturuyor.

Ve ilgiyi uyandıran asıl şey karanlık maddenin tanımlanamayan kimliği değil. Miktarı ve uzaydaki dağılımından da emin değiliz. Bu da ışınım yapan maddenin dağılımını anlama yönündeki çabaları boşa çıkarıyor. Görünüşe bakılırsa, karanlık madde her ölçekte var. Büyük ölçeklerde, galaksilerin özel hızları ile ışınım yapan maddede *gözlenen* düzensizliklerin bağdaştırılmasının, özel hızları kütle çekimi yoluyla etkileyen karanlık

maddenin varlığını ortaya çıkarması gerekir. Astronomlar, karanlık maddenin en az bir bölümünün ışınım yapan madde civarında kümelenmiş olması gerektiğini biliyorlar. Ama acaba tümü kümelenmiş durumda mı? Eğer düzgün dağılmış olsaydı, karanlık madde özel hızları etkileyemeyeceğinden bulunması çok daha güç olurdu.

Önümüzdeki on yılda, sıcak gazların yaydığı X-ışınları kullanılarak, karanlık maddenin bir dağılım haritası çıkarılacaktır. Büyük galaksi kümelerinin içinde ve bazı galaksilerin merkezinden 5-10 milyon ışık yılı uzaklara kadar yayılan çok sıcak gaz bulutları saptanmıştır. Aşırı sıcaktan dolayı dağılıp gitmesi gereken gazın, görünmeyen maddenin çekim kuvveti tarafından birarada tutulduğu açıktır. Astronomlar, gazın dağılımından geriye doğru giderek bu gazı bir arada tutan kütle çekim kuvvetini ve bu çekim kuvvetini yaratan karanlık maddenin dağılımını ortaya çıkarabiliyorlar. Önümüzdeki on yılda Alman X-ışın uydusu ROSAT, Japon X-ışın uydusu Astro-D ve Amerikan uydusu AXAF, galaksi kümelerindeki sıcak gaz dağılımının gittikçe daha iyi haritalarını yapacaklardır. Son iki uydu, gazın aynı zamanda sıcaklığını da ölçebilecektir.

Karanlık maddeyi ölçümlemenin yeni yöntemlerinden biri de ‘çekimsel mercek’ olgusunu kullanır. Kütle çekimi maddeyi olduğu gibi ışık ışınlarını da çeker. Bu nedenle kuasar gibi uzak bir kaynaktan yayılan ışık, Dünya’ya doğru yolculuğu sırasında yolu üzerindeki madde tarafından bükülür. Aradaki bu madde, kuasarın görüntüsünü dağıtabilir veya yeniden biçimlendirebilir. Kuasar görüntülerindeki bozulmaları incelemek yoluyla astronomlar, bu bozulmaya neden olan maddenin dağılımını, karanlık madde gibi görünmez olsa bile anlayabiliyorlar. Çekimsel merceklerin ilk kez keşfedildiği 1979 yılından bu yana on kadar çekimsel mercek bulundu. Önümüzdeki on yılda ise çekimsel mercek olgusu, karanlık maddenin doğasını anlamak ve haritasını çıkarmaya yönelik güçlü bir araç olarak kullanılacak. Şimdiden böyle bir program AT&T Bell Laboratuarları’ndan Anthony Tyson ve başkaları tarafından başlatılmış durumdadır.

Bazı astronomlar karanlık maddenin büyük gezegenlerden oluştuğunu ileri sürüyorlar. Büyük gezegenler, tam anlamıyla görünmez değildir; düşük şiddette kızılötesi ışınım yayarlar. SIRTF, karanlık maddenin gizlenmiş olabileceği, galaksimizin uzak noktalarındaki kızılötesi yayan gezegenleri bulabilecek ölçüde duyarlı olacaktır.

Karanlık madde, parçacıklardan oluşmuş topaklar olan gezegenler yerine bu parçacıkların kendilerinden oluşmakta olabilir. Bu olasılıklar, parçacık fizikçilerinin hayal güçlerini harekete geçirmiştir. Düzinelerce parçacık, hatta laboratuarda hiç gözlenmemiş parçacıklar öne sürülmüştür. Aksiyon veya fotino gibi adlar alan bu hayal ürünü parçacıklar atom-altı fiziğin yeni teorilerine dayanılarak öngörülmektedir. Bununla birlikte, bu yeni parçacıkların özellikleri belirsizdir. Tüm bilinen, hiçbir zaman görülemediğinden, bu parçacıkların diğer maddeler üzerindeki etkilerinin çok zayıf olduğudur. Eğer karanlık madde gerçekten bu egzotik parçacıklardan oluşuyorsa, o zaman bu parçacıklar uzaydan daha çok laboratuarda tanımlanabilir. Son birkaç yıl içinde bu varsayılan parçacıkların bazılarını aramak üzere ilk detektörler yapıldı. Parçacıkların utangaç olmasından ötürü deneyler son derece zor. Eğer bu parçacıklar gerçekten varsa, onları bulabilmek için gelecekte yapılacak detektörlerin duyarlılığının günümüzdekilerden yaklaşık yüz kat daha fazla olması gerektiği hesaplanıyor.

Evrenin Kökeni

Fiziğin amacı doğayı olabildiğince basit bir teoriyle açıklayabilmektir. Kozmolojinin amacı ise evrenin yapısını ve evrimini bu teoriyle çözmeye çalışmaktır. Astronomlar ve fizikçiler gözlenen evrenden yola çıkıp, kütle çekimi, elektrik ve nükleer kuvvetler konusundaki bilinen yasaları kullanarak zaman içinde geriye, büyük patlamaya doğru gidebilirler. Evren büzülür. Galaksiler amaçsız gaz kabarcıklarına dönüşürler.

Kabarcıklar birleşir. Yıldızlar ve sonunda atomlar çözülür. Sıcaklık tırmanır. Atom çekirdekleri parçalanır. Sonra, büyük patlamadan 0.00001 saniye önce, evreni dolduran atom-altı parçacıkların enerjileri, yeryüzündeki parçacık hızlandırıcılarda elde edilemiyen en yüksek değerlere ulaşır. Büyük patlama anına daha da yaklaşmak spekülasyon konusudur. Son zamanlara kadar kozmoloji alanında çalışan astronomların çoğu, bu ilk anları fazla merak etmiyordu. Evrenin kökeni sorusu hemen hemen düşünülemeyecek kadar büyüktür.

Bugün bu soru üzerinde düşünülüyor. Günümüzün astronom ve fizikçileri, şu an var olan evrenin özelliklerinin büyük bir olasılıkla ilk yüz binde bir saniye içinde olup bitenlere bağlı olduğunu düşünüyorlar.

Garipdir ki bu özelliklerden biri, kozmik fon ışınımının tekdüzeliğinin kanıtladığı evrenin büyük ölçekteki düzgünlüğüdür. Her ne kadar bu düzgünlük ve homojenlik büyük patlama modelinde *varsayılıyorlarsa da açıklanmaları* veya en azından akla yakın bir biçime sokulmaları gerekir.

Evrenin bu kadar homojen yaratılmış olabileceği fikri pek çok bilim adamına hiç de akla yakın gelmiyor. Başlangıçtaki homojenlik bozuklukları zamanla kendi kendilerini yok etmiş olabilirler. Bu, bir banyo küvetine akıtılan sıcak ve soğuk suyun karışarak ve ısı alışverişi yaparak aynı sıcaklığa gelmelerine benzetilebilir. Bununla birlikte, ısı alışverişi zaman alır. Hiçbir şey ışıktan daha hızlı hareket edemeyeceğine göre, ısı alışverişinin yapılabileceği en büyük uzaklığı ışık hızı sınırlar. Bu nedenle, evren 300000 yaşında iken homojenleşmenin yer almış olabileceği bölgenin boyutları en çok 300000 ışık yılı olabilir. Ama o zamanlar kozmik fon ışınımını üreten bölgenin boyutları yaklaşık 50 milyon ışık yılıydı; ki bu boyutlar büyük patlamadan sonra ısı alışverişinde bulunup homojenleşmek için yeterince zaman bulmuş olamazlar. Evrenin büyük ölçekli homojenliğinin açıklanmasına ufuk problemi adı veriliyor. Bu problem ilk kez 1960'ların sonlarına doğru Maryland Üniversitesi'nden Charles Misner tarafından açık bir biçimde ortaya atılmıştır. Çözümü de büyük olasılıkla ilk yüz binde bir saniyenin anlaşılmasını gerektirmektedir.

1970'lerin sonlarında ve 1980'lerin başlarında teorik kozmolojide bir devrim yaşandı. Atom-altı parçacık ve kuvvet teorisinden kaynaklanan yeni fikirler evrenin başlangıcına yeni bir bakış açısı getirdi. Bu yeni fikirlerle yeni sorular da sorulabilirdi. 1970'lerden önce bilim adamları evrenin, galaksilerin ve maddenin varlığı, maddenin karşı-maddeye üstünlüğü ve kozmik fon ışınımının son derece tekdüze olması gibi özelliklerinin bilinmekte olduğunu kabul etmişlerdi. 1970'lerden önce kozmoloji alanında çalışan astronomlar daha çok galaksilerin uzaklıklarının ve özelliklerinin saptanması, evrenin genişleme hızının ölçülmesi ve büyük patlama teorisinin sonuçlarının yorumlanması gibi konularla ilgileniyorlardı. 1970'lerden bu yana atom-altı fiziğinin yeni bulgularıyla donanmış olan kozmoloji uzmanları, daha önce baştan kabul ettikleri varsayımları yeniden sorguluyorlar. Madde neden var olmak zorunda? İlk kuarklar ve elektronlar nereden geliyor? Evren gençken neden çok homojen görünüyordu? Atom-altı fiziği, kozmolojinin sınırlarını ilk 0.00001 saniyeden daha erken zamanlara götürmüştür.

Kısaca söz edilecek olan 1970'lerin sonlarındaki devrimden önce bile kozmoloji, atom-altı fiziğiyle bağlantılıydı. Elemanter parçacık ve kuvvet teorileri, yaşamsal bir biçimde kaç tür elemanter parçacık olduğuna bağlıdır. Atom-altı parçacıkların bir türüne lepton adı verilir. Yalnızca üç tür lepton bilinmektedir-elektron, mü-on ve tau ile bunların karşı parçacıkları ve nötrinoları. Ama parçacık fiziğinin kimi teorileri bu sayının daha fazla olduğunu öngörüyorlar. Şimdi sıra kozmolojide. İlk olarak 1964 yılında İngiliz fizikçiler Fred Hoyle ve Roger Tyler ile bağımsız olarak Rus fizikçi V. F. Shvartsman tarafından yapılıp 1977 yılında daha ayrıntılı bir biçimde bağımsız olarak Bartol Araştırma Kurumu'ndan Gary Steigman, Chicago Üniversitesinden David Schramm ve Princeton'dan James Gunn tarafından tekrarlanan teorik hesaplamalara göre, evrenin ilk evrelerindeki nükleer tepkimelerle üretilen helyum miktarı lepton türlerinin sayısına bağlı olmak zorundadır. Lepton türü ne kadar fazla ise helyum miktarı o ölçüde fazla olacaktır. Hesaplamalar, şu anda gözlenen helyum miktarı için -ki bu tüm maddenin yüzde yirmi dördü demektir- bilinen üç leptona ek olarak *en fazla* bir yeni tür leptonun var olabileceğini göstermektedir. Bunlar tümüyle teorik hesaplardır. Bu hesaplar büyük patlama modeliyle açıklanan evrenin ilk dakikalardaki görünüşüne dayanmaktadırlar. Ama bu hesaplar, evrenimizin atom-altı düzeyde temel bir özelliğini öngörmüşlerdir. Bu öngörü 1989 yılında sınandı. Cenova, CERN'deki dev elektron-pozitron çarpıştırıcı ve Kaliforniya, Stanford'daki Lineer Hızlandırıcı Merkezi'nde yapılan deneyler, yeni tür bir lepton *olmadığını* ortaya çıkardı. Yalnızca üç tür lepton var. Bu doğrulama, atom-altı fizik ve büyük patlama teorisi konularındaki güvenimizi arttırmaktadır.

1970'lerde atom-altı fiziği ile kozmoloji arasında gerçekleşen verimli işbirliği GUT kısaltması ile anılan 'birleşik alanlar teorileri'nin ortaya çıkmasına zemin hazırladı. Bu teoriler doğada yalnızca bir temel kuvvetin olduğunu öne sürüyor. Bununla birlikte, normal koşullarda bu tek kuvvet, dört ayrı kuvvetmiş gibi görünüyor: Kütle çekim kuvveti, elektromanyetik kuvvet ve iki tür nükleer kuvvet. Bazı GUT teorileri kütle çekim kuvvetini içerirken diğer bazı teorileri içermiyor. Öne sürülen bu dört kuvvetin 'tek'liği kavramı, biraz da suyun üç biçiminin 'tekliğine benziyor. Buz, sıvı su ve buhar da birbirlerinden çok farklıymış gibi görünürler. Ama aynı moleküllerden oluşmuşlardır. Dahası, uygun koşullarda, örneğin çok sıcak ya da çok soğuk ortamlarda tek biçime (tümüyle buhara ya da buza) dönüşürler.

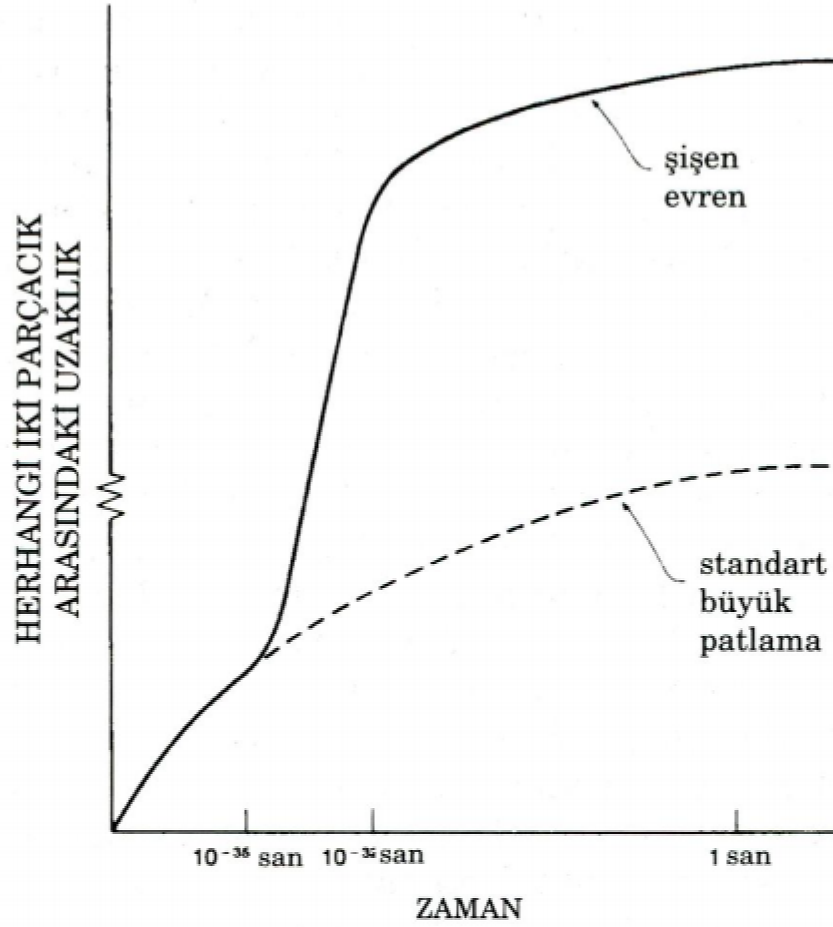
Eski Yunan’dan bu yana fizikçiler, sürekli olarak doğanın ‘minimalist’ açıklamalarının peşinde koşmuşlardır. Böyle teoriler çok çekici görünmekteyse de hâlâ herhangi bir birleşik alan teorisini destekleyen son derece az sayıda gözlemsel kanıt vardır. Bu teorilerin sınanması olanaksız değilse bile çok güçtür. Kuvvetlerin birleşeceği sıcaklık -yaklaşık 10^{28} derece- herhangi bir laboratuarda elde edilebilecek sıcaklığın çok çok üzerindedir. Yıldızların merkez bölgelerindeki sıcaklıkların da çok çok üzerindedir. Aslında böylesine yüksek bir sıcaklık tek bir kez, büyük patlamadan yalnızca bir saniye sonra sıcak enerji denizi evreni doldururken ortaya çıkmıştır. Şu an içinde yaşadığımız evrende yeni teorilerini sınayabilecek bir laboratuvar bulamayan atom-altı fiziği, evrenin ilk anlarına gitmek, dolayısıyla da kozmolojinin dünyasına girmek zorunda kalmıştır.

1980’lerin başlarında, tümü de atom-altı fizikçileri olan Massachusetts Teknoloji Enstitüsü’nden (daha sonra Stanfordlu) Alan Guth, Pennsylvania Üniversitesi’nden Paul Steinhardt ile Andreas Albrecht ve Moskova’daki Lebedev Fizik Enstitüsü’nden Andrei Linde -ki hepsi GUT konularında uzmandır- büyük patlama modelinde, kozmolojideki ufuk probleminin ve diğer çözülmemiş problemlerin doğal bir biçimde çözülmesini sağlayacak değişiklikler önerdiler. Adına şişen evren modeli denen yeni kozmoloji modeli, kozmoloji düşüncesine temel değişiklikler getirdi.

Şişen evren modeline göre, evren henüz yalnızca 10^{-35}saniye yaşında iken -ki bu, birleşik kuvvetin ayrı biçimlere dönüştüğü andır- evren, kısa ve çok hızlı bir genişleme aşamasından geçmiştir. Hızlı genişlemeye o zamanlar var olan ve kütle çekiminin çekici değil itici olmasını sağlayan garip ve değişik bir enerji biçimi neden olmuştur. Evren 10^{-32} saniye yaşına ulaştığında ise hızlı genişleme dönemi sona ermiştir. Bu andan sonra evren çok daha yavaş bir genişleme sürecine girmiştir. Hızlı genişleme dönemi o kadar küçük bir uzay bölgesini kapsamıştır ki bölge hemen homojenleşmiş ve hızla günümüzde gözlenen evrenin boyutlarından daha büyük boyutlara kadar genişlemiştir. Bu nedenle, şişmeye benzer bu genleşme, evreni, elimizde veri bulunan bölgelerden çok daha büyük ölçeklerde homojenleştirmiştir. Standart büyük patlama modeline göre daha önce hiçbir zaman ısı alışverişi yapacak ölçüde birbirine yakın olmamış noktalar, şişen evren modeline göre aslında birbirlerine çok yakın konumlarda bulunabiliyorlardı.

Şişen evren modelinin, evrendeki yapıların oluşumu konusunda kendine özgü öngörüleri vardır. Özellikle, evrenin ilk dönemlerindeki birleşik kuvvetle ilişkili süreçler, önceden çöldeki kum tepelerine benzeyip daha sonra galaksi ve galaksi gruplarına dönüşen homojenlik bozukluklarının doğasını belirler. Bu öngörüler, daha önce sözü edilen çekimsel hiyerarşi modelinin özel bir durumu olan ve 'soğuk karanlık madde' modeli adı verilen ayrıntılı bir büyük-ölçekli evren modeline dönüşmüşlerdir. Çok etkili bir model olan soğuk karanlık madde modeli, kozmoloji ile uğraşan astronomların büyük çoğunluğu tarafından son on yılda, kozmik yapılanmanın en önde gelen modeli olarak nitelendirilmektedir. Galaksilerin gözlenen konum ve hareketlerini anlamak için kullanılan bilgisayar simülasyonlarının çoğu, soğuk karanlık madde modelinin öngördüğü ilk homojenlik bozulmalarıyla başlar.

Teoriciler açısından büyük bir şanssızlık olarak, soğuk karanlık madde modeline karşı birikmekte olan gözlemsel kanıtlar, hemen hemen ölümcül bir düzeye ulaşmıştır. Asıl problem şudur: Galaksiler, büyük ölçekte, teorinin öngördüğünden daha fazla kümelenmektedirler. 1980'lerin başlarında Princeton Üniversitesinden Neta Bahcall ve AT&T Bell Laboratuarları'ndan Raymond Soneira galaksi kümelerinin yüz milyonlarca ışık yılı ve daha büyük ölçeklerde biraraya toplanma eğilimi gösterdikleri sonucuna varmışlardır. 1980'lerin sonlarında, daha önce sözü edilen 'Büyük Çekici'nin bulunması, maddenin büyük ölçeklerde soğuk karanlık madde modeliyle açıklanamayacak ölçüde kümelendiğini göstermiştir. Oxford Üniversitesinden George Efstathiou, S. J. Maddox ve arkadaşları ile Queen Mary ve Westham Kolej'leri ile Durham Üniversitesi, Oxford Üniversitesi ve Toronto Üniversitesi'nden bilim adamı gruplarının son zamanlardaki çalışmaları, 30 milyon ışık yılından daha büyük ölçeklerdeki galaksilerin, kolaylıkla soğuk karanlık madde modeliyle açıklanabileceğinden daha fazla kümelendiklerini gösterdi. Kozmoloji alanında çalışan astronomların çoğu, soğuk karanlık madde modelinin artık ölmekte olduğunu düşünüyor. Ama yerine geçmeye aday iyi bir model de yok gibi görünüyor. Daha fazla sayıda galaksinin incelenmesi, daha fazla sayıda teorik düşünce ve daha çok bilgisayar simülasyonu gerekiyor. Şu an kozmoloji ile uğraşan astronomlar yeni gözlemler sonrası şaşırmış ve problemli bir durumdalar.



Şekil 18. *Standart büyük patlama ve şişen evren modellerine göre evrenin genişlemesi. Genişleme, birbirinden uzakta bulunan iki nokta arasındaki uzaklığın artmasıyla ölçülebilir (Bu erken dönemlerde henüz galaksiler yoktu).*

Hâlâ, soğuk karanlık madde modeli yanlış olsa bile şişen evren modelinin bir başka yorumunun doğru olduğu düşünülebilir. Şişen evren modeli doğru olsun yanlış olsun, bilim adamlarına, büyük patlamadan çok kısa bir süre sonra evrenin davranışı konusunda hesaplar yapabilme olanağı sağlamıştır. Şu anda bilim adamlarının elinde, kozmik fon ışınımının düzgünlüğü gibi evrenin şaşırtıcı özelliklerini, hesaplanabilir fiziksel süreçler cinsinden açıklayabilecek bir model var.

Tartışmayı sürdürebilmek açısından şişen evren modelinin doğru olduğunu düşünelim. Bu bizi büyük patlamanın 10^{-35} saniye sonrasına götürür. Ama acaba bundan önce ne oldu? Bazı fizikçiler, evrenimizin birçok özelliğinin Planck dönemi adı verilen ilk 10^{-43} saniyelik sürede belirlendiğini düşünüyorlar. Kuantum teorisinin kurucularından Max

Planck'a atfen Planck dönemi denen sürede tüm evren, atom-altı parçacıkları etkileyen 'kuantum mekaniksel salınımlar' tarafından etkilenmiş olmalıdır. 1920'ler ve 1930'larda gelişip daha sonra deneysel olarak doğrulanan kuantum mekaniği, atom-altı ölçeklerde maddenin davranışını belirler. Bu davranış, makroskopik yaratıklar olan bizlerin sağduyusuna aykırıdır. Kuantum mekaniğine göre, atom-altı düzeyde doğanın yapısal bir bulanıklığı vardır; doğa, kesin bir biçimde değil, ancak olasılıklarla tanımlanabilir. Örneğin elektron, aynı anda bir çok yerde bulunuyormuş gibi davranır. Planck döneminde büyük miktarlarda madde ve enerji, toptan ortaya çıkmak ve kaybolmakla aynı biçimde davranmış olabilir. Zaman kavramının kendisinin hiçbir anlamı olmayabilir. Tüm pratik amaçlar açısından Planck dönemi, evrenin kökeni sayılabilir.

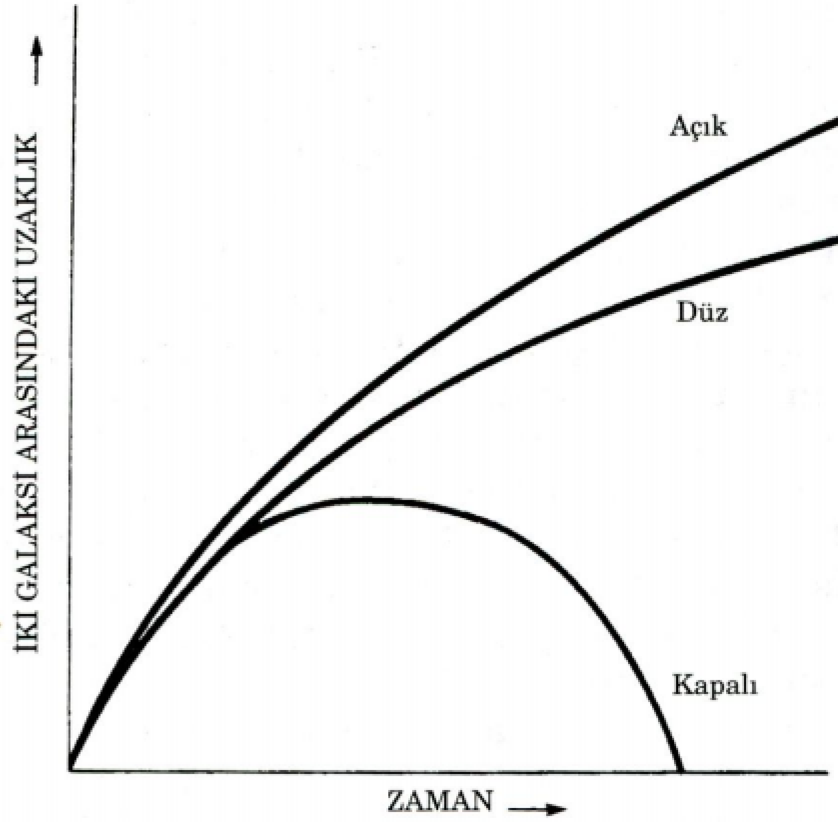
Son on yılda Stephen Hawking'in önderliğindeki teorik fizikçiler, evrenin Planck dönemindeki beklenen davranışlarını hesaplamaya çalıştılar. Böyle çalışmalara kuantum kozmolojisi adı veriliyor. Hawking, kuantum mekaniği ve genel görelilik teorisinin kavramlarıyla işe başlıyor, yüksek boyutlu düşsel bir uzayda evrenin biçimi ile ilgili bazı genel varsayımlar yapıyor ve sonuçları yorumluyor. Hawking, evrenin doğuşunu hesaplamaya çalışıyor. İtiraf etmek gerekir ki Hawking'in hesapları çok basite indirgenmiştir. Ama bileşenlerinin bir bölümü doğru olabilir. Eğer böyle bir hesaplama güvenilir bir biçimde yapılabilse bile, bilim adamları evrenin ilk koşulları konusunda herhangi bir varsayımda bulunmak zorunda değillerdir. Evrenin neden öyle olduğunu öğreneceğiz.

Evrenin Sonu

Şu anda evrenin genişlemekte olduğunu biliyoruz ama acaba bu genişleme sonsuza kadar sürecek mi? Evrenin kaderi ne acaba? Hemen hemen kesin bir biçimde, genişleme yavaşlamaktadır. Tıpkı yukarıya doğru atılan bir taşın yerçekimi nedeniyle yükselirken bir yandan da yavaşlaması gibi evren de genişlerken bir yandan da kendi kütle çekimi altında bu genişleme yavaşlamaktadır. Dışarıya doğru genişleme ile içeriye doğru etki yapan kütle çekimi arasındaki rekabet, iki olasılık ortaya çıkarıyor: Ya yeryüzünden yukarıya doğru kurtulma hızından daha büyük bir hızla fırlatılan bir taş örneğinde olduğu gibi evren sonsuza kadar genişleyebilir veya yeterince hızlı fırlatılmadığından dolayı bir yüksekliğe kadar çıktıktan sonra geriye düşen bir taş örneğinde olduğu gibi evren de bir noktaya kadar

genişleyip sonra büzülmeye başlayabilir. Bu iki olasılık, açık ve kapalı evrenler olarak adlandırılır. Açık evrenler sonsuza kadar sürer. Kapalı evrenlerin ise sonu vardır. Evren hemen hemen sonsuz yoğunluğa ulaşıncaya kadar büzüldüğünde bir çeşit ters büyük patlama ile sonu gelir.

Evrenimizin bu yollardan hangisinde olduğu kozmik genişlemenin nasıl başladığına bağlıdır, tıpkı yukarı fırlatılan taşın yolunun, taşın ilk hızının Dünya'nın çekim kuvvetine oranla büyüklüğüne bağlı olduğu gibi. Bununla birlikte, bu ilk koşullar konusunda hiç bilgi sahibi olmasak da *şu andaki* genişleme hızı ile *şu andaki* ortalama madde yoğunluğu karşılaştırılarak evrenin açık veya kapalı olduğu saptanabilir. Eğer yoğunluk, kritik bir değerden büyükse, o zaman kütle çekimi üstün gelir ve evren kapalıdır. Gelecekte bir zamanda çökecektir. Eğer yoğunluk, kritik yoğunluktan azsa, evren açıktır. Yoğunluğun kritik değeri, evrenin şu andaki genişleme hızı tarafından belirlenir. Her 10 milyar yılda uzaklıkların iki katına çıktığı saptanmıştır, bu da 10^{-29} gr/cm^3 kritik yoğunluk anlamına gelir. Bu değerin anlamını kavrayabilmek için, bir kişisel bilgisayarın toplam kütlesinin Güneş'in hacmine dağıldığını düşünün. Maddenin gerçek yoğunluğunun kritik yoğunluğa oranına omega adı verilir. Evrenin olası kaderini omega cinsinden söylememiz gerekirse, omega birden küçükse evren açık, omega birden büyükse evren kapalıdır. Omeganm tam bire eşit olduğu özel durumda evrenin düz olduğundan söz edilir ki bu durum açık ve kapalı evrenlere eşit uzaklıktadır.



Şekil 19. *Kapalı, açık ve düz kozmolojilerde evrenin zamanla genişlemesi. Genişleme, herhangi iki uzak galaksi arasındaki uzaklıkla ölçülebilir. Kapalı bir evrende, evren önce genişler, sonra büzülür.*

Çeşitli ölçümlere göre, evrenin gerçek ortalama madde yoğunluğu, kritik değerin onda biri veya 10^{-30} gr/cm^3 civarındadır. Omega yaklaşık olarak 0.1'dir. Evrenimiz açık gibi görünüyor.

Ne yazık ki madde kapalı değildir. Omegayı ölçmek zordur. Eğer evren tümüyle homojen olsaydı, yani bütün parçalarının özellikleri tamı tamına aynı olsaydı, yakın ölçümlerden omeganın değerini saptamak göreceli olarak kolay olurdu. Uzaklıkların kolayca saptanabileceği yakın bir uzay hacmi alın, hacim içindeki madde miktarını çekimsel etkilerden saptayın ve hacme bölerek yoğunluğu bulun. Sonra, kırmızıya kayma miktarından hacmin kenarının uzaklaşma hızını ölçün, uzaklığa bölün, ve kozmik genişleme hızı ile buna karşılık gelen kritik yoğunluğu bulun. Bununla birlikte evren tam anlamıyla homojen değildir. Yerel homojenlik bozuklukları, evrenin yoğunluğunun ve genişleme hızının bir yerden başka yere değişmesine neden olur. Yapabileceğimiz en iyi şey, yeterince büyük ölçeklerde bu homojenlik bozukluklarının ortadan kalktığını ummak ve ölçümlerimizi böyle büyük ölçekte yapmaktır.

Böyle bir ölçüm yapmanın olası bir yolu, ilk kez Yakov B. Zel'dovich ve Rashid Sunyaev'in dikkat çektiği bir etki olan kozmik fon ışımasının galaksi kümelerindeki sıcak gazlardan saçılmasıdır. Sıcak gaz, radyo dalgaları Dünya'ya doğru yol alırken onlara hafif enerji destekleri verir. Hem radyo dalgalarındaki enerji değişimini, hem de sıcak gazların yaydığı X-ışınlarını ölçerek galaksi kümelerinin uzaklığı oldukça iyi saptanabilir. Büyük sayıda galaksi kümeleri için tekrarlanan böylesi ölçümler, evrenin büyük ölçekteki genişleme hızının daha kesin ölçümlerine olanak verir. Astronomlar, önümüzdeki on yılda MA, AXAF ve diğer araçlarla bu ölçümleri yapabilmeyi ümit ediyorlar.

Benzer biçimde, çok sayıda galaksi için tekrarlanan hız ve uzaklık ölçüm çalışmaları, hem omeganın hem de Hubble sabitinin yerel değerlerini bulmakta kullanılabilir. Galaksilerin özel hızları, bir bölgede birikmiş halde bulunan, kozmik madde yoğunluğunun üzerindeki madde miktarına bağlıdır. Belli bir bölgede ortalamanın üzerinde ne kadar madde bulunduğu bilgisi ile birlikte özel hızların ölçülmesi, omeganın hesaplanabilmesini sağlar.

Omega tümüyle belirsiz değildir. Astronomlar geniş uzay bölgelerinde omeganın 0.1'den küçük olmamasını sağlayacak miktarlarda madde bulmuşlardır. Diğer yandan, eğer omega 2'den büyük olsaydı, evrenin hesaplanan yaşının Dünya'mızın yaşından küçük olması gerekirdi. Dolayısıyla, omeganın değerinin 0.1 ile 2 arasında olduğu hemen hemen kesin gibidir. Eğer omeganın değeri, evrenin açık mı yoksa kapalı mı olduğu sorusuna yanıt olacak şekilde l'den kesinlikle küçük ya da l'den kesinlikle büyük olarak bulunabilseydi, kozmoloji ile uğraşan astronomlar bu sonuçtan daha fazla memnun olacaklardı. Bunu belki de önümüzdeki on yılda anlayabileceğiz.

Şişen evren modeli omeganın değerinin kesinlikle l'e eşit olmasını öngörüyor. Bu anlamda, en azından ilke olarak model, gözlemsel sonuçlarca çürütülebilir ya da desteklenebilir. Şu andaki gözlemsel sonuçlar, omeganın değerinin 0.1'e yakın olduğunu gösteriyor. Bu nedenle şişen evren modelinin doğru olduğuna inanan bilim adamları çok büyük miktarlarda maddenin bir şekilde gizlendiğini kabul etmek zorundalar. Bu gizli maddeye 'kayıp madde' adı veriliyor.

Özetlersek, gözleyebildiğimiz ışık yayan madde, omeganın 0.01 olmasını sağlayabilecek ölçüde kütleye karşılık geliyor; gözlenemeyen ama çekimsel

etkileri saptanabilen maddeden dolayı bir 10 çarpanı gelerek omegayı yaklaşık olarak 0.1 değerine yükseltiyor. Omeganın 1 olmasını gerektiren şişen evren modelini destekleyenler, uzayın her ışık yılı kübünde görülemeyen ama varlığı çekimsel olarak saptanabilen on kat daha fazla madde olduğunu varsaymak zorundalar.

Her ne kadar şişen evren modeli şu andaki gözlemsel sonuçlara ters düşüyorsa da genel özellikleri ve açıklamaya yönelik gücü nedeniyle pek çok bilim adamının aklını çelmiş gibi görünüyor. Hayli etkili olan şişen evren modelinin on yıldan biraz daha fazla zaman önce henüz bilinmediğini kabul etmek gerekir. 1987A süpernovası gibi bu düşünce de birden patlamıştır. Gelecekte de bu tür düşünce patlamaları olmasını beklemeliyiz.

Eğer evren kapalı ise, bir gün genişlemesini durduracak ve büyük patlamanın tersine büzülmeye başlayacaktır. Sıcaklıklar azalma yerine artmaya başlayacak, sonunda bütün madde dağılıp yok oluncaya kadar sıkışacaktır. Bir evrenin ölümünden sonra başka bir evrenin doğup doğmayacağı ise tam bir bilinmeyendir.

Ama evren açık veya düzse, sonsuza kadar genişlemesini sürdürecek, gittikçe soğuyacak ve yoğunluğu azalacaktır. Yıldız ve galaksiler evrimlerini gittikçe yavaşlayan bir hızda sürdüreceklerdir. Hesaplamalara göre, yaklaşık 10^{14} (100 trilyon) yıl sonra bütün yıldızlar yakıtları bittiği için sönükleşecek, 10^{15} yıl sonra gezegenler ile çevresinde döndükleri yıldızlar arasındaki bağlar kopacak, yaklaşık 10^{19} yıl sonra yıldızlar içinde bulundukları galaksilerden çekimsel olarak kurtulacak, ve yaklaşık 10^{1500} yıl sonra evrendeki madde tümüyle demire dönüşecektir. Tüm bunların gerçekleşmesi için yeterince zaman vardır. Princeton'daki İleri Araştırmalar Enstitüsü'nden Freeman Dyson gibi kimi bilim adamları, böyle yok oluşa giden bir evrende yaşamın devam edebileceğine inanıyorlar. Uzayın sonsuzlukları gittikçe daha fazla boşalıp soğudukça, nöronlar arasındaki iletimin yavaşlaması, eldeki zamanın sonsuz uzunluğuyla karşılanabilir. Böylece sonsuza doğru uzanılıp açılınabilir. Yıllar saniyeye dönüşecektir.

Son olarak, kesinlikle yapabileceğimiz tek şeyin, uzayın bulunduğumuz yerel bölgesinin haritasını yapmak olduğunu unutmamamız gerekir. Eğer evren sonsuz uzanımda olsa bile, verilen bir zamanda yalnızca sınırlı bir bölümünü görebiliriz: Yalnızca ışığın büyük patlamadan günümüze kadar yol aldığı uzay bölgeleri görülebilir. Uzayın daha büyük derinliklerine baktığımızda, bize ulaşmak için daha fazla yol alan ışığı görürüz. Eninde

sonunda öyle bir uzaklık gelir ki, teleskobumuza o an ulaşan ışık büyük patlama sırasında yayınlanmıştır. Bu uzaklık, gözlenebilen evrenin şu an 10-20 milyar ışık yılı olarak hesaplanan sınırlarını belirler. Daha uzağı göremeyiz, çünkü ışık henüz oradan bize ulaşmak için gereken zamanı bulamamıştır. Bu sınırdan ötede ne olduğunu bilebilmemizin de hiçbir yolu yoktur. Evrenin çok uzak bölgelerinde farklı kuvvetlerin, farklı parçacık türlerinin, hatta farklı uzay boyutlarının olması olasılığı akla yakın gözüküyor. Eğer böyle ise, doğanın çok küçük bir bölümü dışındaki bölümlerine tanıklık yapabilmemiz olanaksızdır.

Aynı nedenle, bizi şaşırtacak çok şey vardır. Genişleyen evren gerçeğinin 1920'lerde bilinmediğini, kuasarların 1960 yılında henüz tanınmadığını düşünecek olursak, astronomların 2000 yılından sonra ne bulacağını nasıl düşleyebiliriz? *Türlerin Kökeni* adlı eserinin son sözü olarak Darwin şöyle yazmıştı: "çok basit başlangıçlardan en güzel ve en olağanüstü şeyler oluşur ve evrimleşir." Evren için ne kadar da doğru.

Şu Anda Çalışmakta Olan ve Önerilen Bazı Astronomi Araçları

ADI	ÇALIŞMA ZAMANI	DALGABOYU	yeri	NOTLAR
Arecibo	1960-	radyo	Puerto Rico	Dünya’daki en büyük radyo
Kitt peak	1973-	görünür ve	Arizona	teleskop Ulusal
4 metre		kızılötesi		kullanım
MMT	1978-	görünür	Arizona	6 parçalı
Cerro Tololo	1978-	görünür ve	Şili	
4 metre		kızılötesi		
IUE	1978-	morötesi	uzay	
Einstein	1978-1981	X-ışınları	uzay	
VLA	1980-	radyo	New Mexico	
IRAS	1983	kızılötesi	uzay	tüm-
				gökyüzü
Ginga	1987-1992	X-ışınları	uzay	araştırması Japonya
COBE	1989-	radyo ve kızılötesi	uzay	
HST	1990-	görünür ve morötesi	uzay	kızılötesine de duyarlı
ROSAT	1990-1995	X-ışınları	uzay	Alman-Amerikan ve Ingiliz ortak
GRO	1991-2005	gamma ışınları	uzay	yapımı
VLBA	1992-	radyo	ABD	
Keck 10 metre	1992-	görünür ve kızılötesi	Hawaii	
Smithsonian 6.5 metre	1993-	görünür ve kızılötesi	Arizona	güncelleş tirilmiş MMT
GONG	1993-	görünür	tüm yerküre	Güneş teleskopu
GBT	1995-	radyo	Batı Virginia	
Milimetre Altı Gözlemcisi	1996-	radyo ve kızılötesi	Hawaii	Smith sonian
SOFLA	1997-2017	kızılötesi	havadan gözlem	
Columbus 8 metre	1996-	görünür ve kızılötesi	Arizona	2 adet 8.4 metre
Magellan 8 metre	1996-	görünür	Şili	
Japon 7.5 metre	1996-	görünür	Hawaii	
IRO	1998-	kızılötesi ve	Hawaii	ulusal
		görünür		kullanım
VLT	1998-	görünür ve kızılötesi	Şili	Avrupa 4 adet 8 metre
AXAF	1998-2013	X-ışınları	uzay	
SIRTF	2000-2005	kızılötesi	uzay	
MMA	2001-	radyo	New mexico	
FUSE	1997-?	morötesi	uzay	
EUVE	1992-?	morötesi	uzay	
OSL	1998-?	X-ışınları ve görünür	uzay	
LEST	1998-?	görünür ve kızılötesi	Kanarya Adaları	
LST	2010-2020	görünür	uzay	